



Ricardo de Oliveira Matos Manuel

Licenciado em Engenharia Geológica

**Contribuição da detecção remota para a
prospecção de jazigos de Sn, W e Au na
região de Góis**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Geológica (Georrecursos)

Orientadora: Maria da Graça Azevedo Brito, Prof.^a Auxiliar, FCT/UNL
Co-orientador: Carlos José Paulino Rosa, EDM, S.A.

Júri:

Presidente: Doutor Martim Afonso Ferreira de Sousa Chichorro
Arguente: Doutor José Carlos Ribeiro Kullberg
Vogal: Doutor Carlos José Paulino Rosa



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Dezembro 2015

Ricardo de Oliveira Matos Manuel

Licenciado em Engenharia Geológica

Contribuição da detecção remota para a prospecção de jazigos de Sn, W e Au na região de Góis

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Geológica (Georrecursos)

Orientadora: Maria da Graça Azevedo Brito, Prof.^a Auxiliar, FCT/UNL

Co-orientador: Carlos José Paulino Rosa, EDM, S.A.

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

2015

Contribuição da detecção remota para a prospecção de jazigos de Sn, W e Au na região de Góis

Copyright@ Ricardo de Oliveira Matos Manuel, 2015

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou em forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Vision is the art of seeing things invisible.

Jonathan Swift

Agradecimentos

Este trabalho é a materialização de um longo percurso, que, como todas as histórias, começou como um desafio pessoal e onde o acaso e a fortuna tiveram, sem dúvida o seu papel. Muitas vezes, aquilo que entendemos como sorte não é mais do que o cuidado e apoio que outros nos dirigem, por vezes, até mesmo das fontes mais inesperadas. A chegada a este fim de viagem não seria, pois, possível, sem um valioso grupo de pessoas, a quem não posso deixar de agradecer:

À Professora Graça Brito, que para além da simpatia e constante jovialidade que traz consigo, sempre acreditou neste trabalho, garantindo que tudo corresse da melhor maneira;

Ao Doutor Carlos Rosa, pela amizade e infindável boa disposição, pela orientação e revisão e pelos importantes sinais de confiança que sempre foi transmitindo no decorrer dos trabalhos;

À EDM, S. A., representada pelo Engenheiro Carlos Caxaria e pelo Doutor Jorge Carvalho, pela oportunidade única que a colaboração no âmbito da presente dissertação proporcionou; em particular ao Fred, Pedro, Marisa e Daniela, que tão bem me souberam receber;

Ao Professor José Carlos Kullberg, pelo brio e profissionalismo que o caracterizam, e, acima de tudo, pela forma como transmite o verdadeiro gosto em ensinar;

Ao Professor Martim Chichorro pelo entusiasmo e disponibilidade demonstrados no decorrer deste trabalho e também pela preciosa colaboração na publicação de alguns dos resultados obtidos.

Aos meus pais, que sempre lutaram para que nada faltasse, e a quem devo, entre outras, toda a teimosia;

À minha irmã, por aturar muitos dos devaneios do irmão mais chato do mundo;

À minha família (a de sangue), a quem muitas vezes a vida ou a sorte negaram os dias bons, por me terem dado todas as oportunidades que não tiveram;

À família, que não sendo de sangue, foi a que eu escolhi (ou me foi a mim escolhendo):

Gonçalo, Tiago, Cris, Inês, Inês e Tânia, que continuam a provar que o tempo e a distância não importam;

À Catarina, Félix, Francisco e Mariline, que foram os primeiros companheiros nesta grande aventura que agora termina;

À Inês, Bruno, Laura, André, Rita, Gonçalo, Gonçalo, Sanches e Brissos, que, não tendo sido os primeiros, acabaram por percorrer boa parte do caminho comigo;

A todos que fizeram parte desta história agradeço, por me terem acompanhado e por, de uma forma ou de outra, ter podido aprender convosco.

E como muitas vezes as palavras mais não são do que um entrave e não deixam exprimir em suficiente medida o que deveria ser dito, não me resta outra via que não a da simplicidade: a todos deixo o meu mais sincero e profundo

Obrigado.

Resumo

A presente dissertação pretende utilizar técnicas de detecção remota como ferramenta na prospecção de jazigos de estanho, volfrâmio e ouro em Portugal Continental.

O facto de ser relativamente comum a coexistência de mineralizações estano-volframíticas com mineralizações auro-argentíferas nas regiões centro e norte de Portugal, associado à importância estratégica e económica destes metais, tanto a nível nacional, como europeu, faz destas regiões um dos mais apetecíveis alvos para a prospecção e exploração mineira em Portugal.

No contexto português, as ferramentas de detecção remota têm vindo a ser aplicadas com alguma regularidade e nas mais diversas temáticas das Geociências. Contudo, exceptuando alguns trabalhos, principalmente dos anos oitenta e noventa, são escassos os casos conhecidos da aplicação específica da detecção remota na prospecção de recursos minerais metálicos em Portugal.

Assim, através da utilização de critérios de fotointerpretação, da aplicação de técnicas de processamento digital a imagens de satélite, assim como da integração dos resultados obtidos com dados de cartografia geológica, de altimetria e geofísicos, pretende-se a selecção de zonas potencialmente relacionadas com a ocorrência dos referidos metais na região de Góis-Castanheira de Pêra.

A selecção das zonas potenciais tem como objectivo a escolha de alvos para posterior estudo em pormenor, cujo alcance já não é abrangido pelo âmbito desta dissertação.

Para além da aplicação das técnicas de detecção remota e da integração de diferentes fontes de informação em ambiente SIG, foram realizados trabalhos de campo com o intuito de permitir a validação preliminar dos resultados obtidos.

Termos-chave: Detecção Remota, Góis–Castanheira de Pêra, Lineamentos, Processamento de imagem, Recursos minerais metálicos.

Abstract

The present dissertation aims the use of remote sensing techniques as a valuable tool for exploration of tin, tungsten and gold deposits in mainland Portugal.

The fact that tin-tungsten and gold-silver deposits are often coexistent in central and northern Portugal, associated with the strategic and economic importance of such metals, at national and European levels, marks this region as one of the most desirable targets for mineral prospecting and exploration in Portugal.

In the Portuguese context, remote sensing tools have been used with great extent in the most diverse geological issues. However, with the exception of some works, mainly dating from the eighties and nineties, there are few known study cases that specifically apply remote sensing in the exploration of metallic mineral resources.

Therefore, by using photointerpretation criteria, by applying digital images processing techniques in satellite imagery, as well as integrating the obtained results with geological mapping, elevation and geophysical data, one aims the selection of zones potentially related with the occurrence of the formerly mentioned resources in the region of Góis–Castanheira de Pêra.

The selection of the potential zones intends the targeting of smaller areas to be studied in a greater detail. This latter phase is not encompassed by scope of this study.

In addition to the use of remote sensing techniques and the data integration in GIS environment, field work was carried out with the purpose of validating the obtained results.

Keywords: Remote Sensing, Góis–Castanheira de Pêra, Lineaments, Image processing, Metallic mineral resources.

Siglas, acrónimos e simbologia

Siglas e acrónimos

ACP – Análise em Componente Principais

DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia

DR – Detecção Remota

EDM, S. A. – Empresa de Desenvolvimento Mineiro, S. A.

ENRG-RM – Estratégia Nacional para os Recursos Geológicos – Recursos Minerais

IV - Infravermelho

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

LWIR – *Long-wavelength infrared*

MDE – Modelo Digital de Elevação

NIR – *Near Infrared* – Infravermelho próximo

OIF – *Optimum Index Factor*

PIB – Produto Interno Bruto

QA – Quartzito Armoricano

REM – Radiação electromagnética

RGB – *Red Green Blue*

SGDB – Supergrupo Dúrico-Beirão

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SIORMINP – Sistema de Informação de Ocorrências e Recursos Minerais Portugueses

SWIR – *Short-wavelength Infrared*

TIN – *Triangulated Irregular Network*

UE – União Europeia

UV -Ultravioleta

ZCI – Zona Centro-Ibérica

ZCPTC – Zona de Cisalhamento Porto-Tomar-Córdoba

ZOM – Zona de Ossa-Morena

e. g. – *exempli gratia*; por exemplo

et al. – *et alia*; e outros

ibid. – *Ibidem*

op. cit. – *opere citato*; da obra citada

s.d. – sem data de publicação

Simbologia

c – velocidade da luz [3×10^8 m/s]

h – constante de Planck [$6,626 \times 10^{-34}$ m².kg / s]

Q – energia dos fotões [J]

λ – comprimento de onda [μ m]

ν – frequência [Hz]

Índice geral

Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	ix
Siglas, acrónimos e simbologia	xi
Siglas e acrónimos	xi
Simbologia	xi
Índice de figuras	xv
Índice de tabelas	xix
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento do tema	1
1.1.1. Os recursos geológicos	1
1.1.2. A detecção remota	5
1.2. Objectivo	8
1.3. Área de estudo	8
1.4. Metodologia geral	9
1.5. Organização da dissertação	10
2. Enquadramento geológico e geomorfológico	11
2.1. Geologia	11
2.1.1. Neoproterozóico - Supergrupo Dúrico-Beirão	13
2.1.2. Paleozóico	14
2.1.3. Mesozóico e Cenozóico	14
2.1.4. Metamorfismo	14
2.1.5. Rochas intrusivas	15
2.1.6. Tectónica e aspectos estruturais	16
2.2. Mineralizações de Sn-W e Au na ZCI	21
2.2.1. Faixa Sn-W de Góis-Panasqueira-Argemela-Segura	24
2.2.2. Faixa Au-Ag de Escádia Grande	27
2.2.3. Faixa Au-Ag Vieiro-Fonte Limpa	29
2.3. Geomorfologia e hidrografia	30
2.3.1. Geomorfologia	30
2.3.2. Hidrografia	31
3. Conceitos e métodos	35
3.1. Conceitos e técnicas de detecção remota	35
3.1.1. A radiação electromagnética	35
3.1.2. Plataformas e sensores	42
3.1.3. Processamento de imagens digitais	46
3.1.4. Detecção remota e prospecção de recursos minerais metálicos	52
3.2. Lineamentos	54
3.2.1. Definição e terminologia	54
3.2.2. Os lineamentos e mineralizações	56
3.2.3. Identificação de lineamentos	56
3.2.4. Análise e classificação de lineamentos	59
3.3. Estruturas circulares	61
3.4. Métodos geofísicos	63
3.4.1. Radiometria	63
3.5. Altimetria e Modelo Digital de Elevação	65
3.5.1. Modelo Digital de Elevação	65
3.5.2. Mapa de relevo sombreado	65
4. Metodologia aplicada	67
4.1. Etapa 1 – Levantamento e interpretação de dados	67
4.1.1. Materiais utilizados	67

4.2. Etapa 2 – Processamento digital.....	68
4.2.1. Processamento digital da imagem de satélite.....	69
4.2.2. Processamento dos dados de altimetria.....	70
4.3. Etapa 3 – Validação e reinterpretação.....	71
4.3.1. Trabalhos de campo.....	71
4.3.2. Reinterpretação e fusão de lineamentos.....	71
4.3.3. Análise estatística dos lineamentos.....	72
4.3.4. Mapas de densidade de lineamentos.....	73
4.4. Etapa 4 – Identificação de áreas potenciais.....	73
4.4.1. Integração de informação.....	73
4.4.2. Critérios para a selecção de áreas potenciais.....	73
5. Resultados.....	75
5.1. Processamento da imagem Landsat 8.....	75
5.2. Processamento dos dados de altimetria.....	81
5.3. Validação dos resultados no terreno.....	82
5.3.1. Selecção de sectores para reconhecimento de campo.....	82
5.4. Reinterpretação de lineamentos.....	95
5.4.1. Lineamentos identificados a partir da imagem Landsat 8.....	95
5.4.2. Lineamentos identificados sobre a imagem de relevo sombreado.....	96
5.4.3. Fusão de lineamentos identificados.....	96
5.4.4. Mapa de densidade de lineamentos.....	102
5.5. Integração de dados.....	103
5.5.1. Lineamentos e geologia.....	103
5.5.2. Lineamentos e mineralizações.....	105
5.5.3. Lineamentos e radiometria.....	107
5.5.4. Dados de toponímia.....	109
5.6. Selecção de áreas potenciais.....	110
6. Considerações finais e trabalhos futuros.....	111
Referências bibliográficas.....	117
Referências na <i>Internet</i>	125
Anexos.....	127
Anexo I – Geologia, Mineralizações e Geomorfologia.....	129
I.A. Fotointerpretação geológica da região de Góis (Andrade, 1985).....	129
I.B. Domínios estaníferos e volframíticos na Península Ibérica (Derré, 1982).....	131
I.C. Couto Mineiro de Góis.....	133
I.D. Cordilheira Central e serra da Lousã (Daveau et al., 1986).....	135
Anexo II.....	137
II.A. Critérios de fotointerpretação.....	137
II.B. Interpretação fotogeológica da região centro de Portugal (Andrade, 1983).....	139
Anexo III – Metodologia aplicada.....	141
III.A. Imagem de satélite (composição <i>true colour</i>).....	141
III.B. TIN.....	143
III.C. MDE.....	145
Anexo IV – Resultados.....	147
IV.A. Cálculo do OIF.....	147
IV.B. Vectores próprios dos eixos principais PC5 a PC11 e respectivas imagens.....	151
IV.C. Cartografia de pormenor – Vale Pião.....	153

Índice de figuras

Fig. 1.1. Áreas de maior potencial para ocorrência de recursos minerais metálicos.....	2
Fig. 1.2. Áreas de prospecção e pesquisa de depósitos minerais.....	4
Fig. 1.3. Matérias-primas críticas para a UE	4
Fig. 1.4. Áreas do território continental português sem cartografia geológica à escala 1/50 000	7
Fig. 1.5. Área de estudo (Góis – Castanheira de Pêra).	8
Fig. 1.6. Metodologia geral.	9
Fig. 2.1. Geologia regional da Beira Baixa.....	11
Fig. 2.2. Mapa geológico da área em estudo.	12
Fig. 2.3. Coluna litoestratigráfica sintética simplificada da área de estudo (não está à escala).....	12
Fig. 2.4. Cisalhamentos e fracturas das fases hercínicas precoces (D1+D2) e tardias (D3+D4)	17
Fig. 2.5. Principais falhas com movimentação desde o Tortoniano até à actualidade	18
Fig. 2.6. Minas e ocorrências estano-volframíticas e auríferas na ZCI.....	21
Fig. 2.7. Faixas metalíferas na região Góis-Castanheira de Pêra.	24
Fig. 2.8. Planta das galerias da mina de Senhora da Guia.....	25
Fig. 2.9. Planta das galerias da mina de Vale Pião	26
Fig. 2.10. Planta das galerias da mina de Escádía Grande	27
Fig. 2.11. Aspectos geomorfológicos das serras de xisto da Cordilheira Central.....	30
Fig. 2.12. Principais cursos de água na área de prospecção e pesquisa de Escádía Grande.....	31
Fig. 2.13. Padrões de drenagem na região de Góis	32
Fig. 2.14. Densidade de linhas de água: (1) Ribeiras de Sótão e Mega; (2) bacia do rio Ceira; (3) bacia do rio Unhais.	33
Fig. 3.1. Funcionamento básico das técnicas de detecção remota.	35
Fig. 3.2. Esquema de uma onda electromagnética.....	36
Fig. 3.3. Espectro electromagnético, com pormenores das regiões do visível e do infravermelho.	37
Fig. 3.4. Fenómenos de reflexão especular e difusa.	38
Fig. 3.5. Diagrama do espectro electromagnético apresentando as janelas atmosféricas e as bandas de absorção	39
Fig. 3.6. Comportamento espectral da água, vegetação e solo.....	40
Fig. 3.7. Curvas espectrais de alguns óxidos e hidróxidos de Fe	41
Fig. 3.8. Curvas espectrais dos principais grupos de aniões relacionados com os materiais geológicos e dos minerais mais importantes, na região do IV térmico	42
Fig. 3.9. Curvas espectrais de alguns exemplos de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares	42
Fig. 3.10. Cronologia das missões Landsat (1972-2015).	44
Fig. 3.11. Resolução espectral dos sensores OLI e TIRS (Landsat 8) e ETM+ (Landsat 7).....	45
Fig. 3.12. Princípios básicos da manipulação de contraste	48
Fig. 3.13. Expressão à superfície dos principais tipos de estruturas geológicas.....	55
Fig. 3.14. Variações no sinal radiométrico ao longo de um lineamento.	58
Fig. 3.15. Alguns critérios de identificação de lineamentos	58

Fig. 3.16. Jazigos Sn-W em Portugal e Espanha, respectiva relação com cúpulas graníticas e zonamento hidrotermal.....	61
Fig. 3.17. Estruturas circulares identificadas por Andrade & Conde (1976)	62
Fig. 4.1. Etapa 2 – Processamento digital.....	69
Fig. 4.2. Filtros espaciais utilizados.....	70
Fig. 4.3. Etapa 3 – Validação e reinterpretação.....	71
Fig. 4.4. Etapa 4 – Identificação de áreas potenciais.	73
Fig. 5.1. Matriz de correlação das bandas espectrais.....	75
Fig. 5.2. Composições RGB utilizadas para detecção de elementos geológicos.....	76
Fig. 5.3. Composição RGB B6/B7, B4/B2 e B6.....	76
Fig. 5.4. Composições RGB com os primeiros quatro eixos principais.	78
Fig. 5.5. Resultados da classificação da imagem de satélite: automática (1 e 2) e supervisionada (3 e 4).....	79
Fig. 5.6. Identificação preliminar de lineamentos sobre: composições RGB, filtros direccionais sobre B6 e filtros direccionais sobre rácios.	80
Fig. 5.7. Identificação preliminar de lineamentos sobre mapas de relevo sombreado.	81
Fig. 5.8. Sectores estabelecidos para o reconhecimento de campo.	82
Fig. 5.9. Enquadramento Sector I.	83
Fig. 5.10. Vista do santuário de Nossa Senhora da Guia. Disposição do relevo em socacos decrescentes até à falha de Lousã, controlados tectonicamente por alinhamentos subparalelos entre si e de direcção aproximada NE-SW.	83
Fig. 5.11. Vale da Barroca do Ribeiro, visto de Nossa Senhora da Guia.	84
Fig. 5.12. Mina de Senhora da Guia (A) filão N60-70°W, 30-45°SW, com mineralização volfrâmica. (B) filão N50°W, 80-90°SE.	84
Fig. 5.13. Enquadramento Sector II.	85
Fig. 5.14. (A) Falha subvertical, correspondendo à transição xistos-grauvaques; (B) Filões de quartzo subverticais (N10°E) e sub-horizontais.	85
Fig. 5.15. Falha N0-5°W.....	86
Fig. 5.16. (A) Plano de falha N0-5°W; (B e C) estrias.	86
Fig. 5.17. Enquadramento Sector III.	87
Fig. 5.18. (A) Zona de esmagamento, N40°E ; (B) Falha N55°E; (C) Diaclasamento sub-horizantal. .	87
Fig. 5.19. (A) caixa de falha N25°W; (B) Zona de cisalhamento N60-70°W; (C) Zona de cisalhamento N-S.....	88
Fig. 5.20. Enquadramento Sector IV.	88
Fig. 5.21. Caixa de falha N50°E (provável troço da falha de Cebola).	89
Fig. 5.22. Falha N10°E.	89
Fig. 5.23. Enquadramento Sector V.	90
Fig. 5.24. Enquadramento Sector VI.	90
Fig. 5.25. Representação em planta dos elementos geológicos reconhecidos em Vale Pião.	91
Fig. 5.26. (A) Estrias horizontais em plano N80°W ; (B e C) Estrutura brechificada e stockwork associado.....	92
Fig. 5.27. Troço da ribeira da Sandinha, alinhado N-S.	92

Fig. 5.28. (A) Alternância rítmica entre camadas de grauvaques e xistos cinzentos; (B) Filão de quartzo com 1-1,5m de possança e de atitude N50-60°W, 60°NE	93
Fig. 5.29. Principais dados recolhidos durante os trabalhos de campo.....	94
Fig. 5.30. Reinterpretação de lineamentos detectados a partir do processamento da imagem de satélite.	95
Fig. 5.31. Reinterpretação de lineamentos detectados a partir das imagens de relevo sombreado.	96
Fig. 5.32. Lineamentos identificados, resultantes da fusão de todas as interpretações realizadas.	97
Fig. 5.33. Diagrama de roseta dos lineamentos representados na Fig. 5.32.	98
Fig. 5.34. Lineamentos detectados, filtrados em classes de azimuth de 30°.	99
Fig. 5.35. Diagrama de dispersão do comprimento dos lineamentos detectados e respectivos azimutes (projectados para os quadrantes I e II)	99
Fig. 5.36. Diagramas de roseta dos lineamentos observados e prováveis.	100
Fig. 5.37. Comprimento dos lineamentos observados vs. prováveis.....	100
Fig. 5.38. Diagramas de roseta dos lineamentos regionais e locais.....	101
Fig. 5.39. Comprimento dos lineamentos regionais vs. locais.	101
Fig. 5.40. Mapa de densidade de lineamentos.	102
Fig. 5.41. Lineamentos detectados sobrepostos à cartografia geológica.	103
Fig. 5.42. Lineamentos detectados e mineralizações conhecidas.....	105
Fig. 5.43. Lineamentos detectados sobrepostos ao mapa radiométrico e ao mapa de densidade de lineamentos.	107
Fig. 5.44. Lineamentos detectados e locais de toponímia relevante.	109
Fig. 5.45. Áreas propostas para estudo detalhado.	110

Índice de tabelas

Tabela 3.1. Principais divisões do espectro electromagnético	37
Tabela 3.2. Características das bandas espectrais das imagens Landsat 7 e 8 (NASA e USGS).	45
Tabela 3.3. Principais aplicações das bandas espectrais do satélite Landsat 8	46
Tabela 4.1. Principais características da imagem de satélite utilizada	67
Tabela 4.2. Cartas militares utilizadas.	68
Tabela 5.1. Combinações de bandas com OIF mais elevado.	76
Tabela 5.2. Valores próprios e percentagem de explicação de cada eixo principal.	77
Tabela 5.3. Vectores próprios de cada eixo principal (PC1 a PC4) e respectivas imagens.	77
Tabela 5.4. Lineamentos identificados a partir do processamento da imagem de satélite.	95
Tabela 5.5. Lineamentos identificados a partir das imagens de relevo sombreado.	96
Tabela 5.6. Lineamentos identificados (após fusão de todas as interpretações dados).	97

1. Introdução

1.1. Enquadramento do tema

1.1.1. Os recursos geológicos

Hoje em dia é consensual a importância que os recursos naturais têm para o Homem. Destes, os **recursos geológicos**¹ têm desempenhado ao longo dos milénios um papel absolutamente elementar.

De forma mais ou menos evidente, a utilização dos recursos geológicos tem sido a base dos grandes marcos da evolução tecnológica. Não será por acaso que a nomenclatura dos principais períodos da Pré-História alude directamente a materiais geológicos: Idade da Pedra, Idade do Cobre, Idade do Bronze e Idade do Ferro. Do mesmo modo, não será fortuito o facto de haver quem defenda terminologias semelhantes para o período moderno, reflectindo o papel determinante que materiais como o carvão, o aço, os derivados dos hidrocarbonetos, o alumínio e o urânio tiveram ou têm representado para a Humanidade.

Mesmo não tendo tradução explícita nos tradicionais índices macroeconómicos, é facto inegável que toda a indústria é, directa ou indirectamente, dependente do consumo de recursos geológicos (Carvalho, 1997).

A problemática dos recursos geológicos tem vindo a assumir uma importância estratégica crescente desde o início do século XXI, facto atestado pelos sucessivos planos, cimeiras, acordos e directivas implementadas a nível internacional. Como se verá mais adiante, só muito recentemente a Europa, e a União Europeia em particular, começou a abordar a questão estratégica dos recursos geológicos, especialmente a enorme dependência que o continente tem em relação a alguns destes.

No contexto dos recursos geológicos, Portugal será dos países europeus com potencial mais relevante.

Portugal e os recursos geológicos

Tendo em consideração a área relativamente diminuta do país (Portugal continental tem cerca de 89.000 km²), a geologia do território português é muitíssimo diversa e complexa, características essas extremamente relevantes no que se refere à ocorrência e variedade dos recursos geológicos.

Para todos os efeitos, abordar os recursos geológicos em Portugal é uma tarefa nada simples. A complexidade deriva não da ausência de conteúdo ou de fontes de informação, mas principalmente da variedade de ocorrências e da ligação histórica, em muitos casos com mais de dois mil anos, entre o território, as populações e os recursos. Estas ligações não só não foram esquecidas, como se mantêm bem vívidas na memória e no dia-a-dia de

¹ A recentemente publicada Lei n.º 54/2015 de 22 de Junho, considera recursos geológicos: depósitos minerais, águas minerais naturais, águas mineróindustriais, recursos geotérmicos, massas minerais e águas de nascente. A esta definição pertencem, ainda, «os bens que apresentem relevância geológica, mineira ou educativa, com vista à sua protecção ou aproveitamento» enquadrados na conservação da natureza e do património cultural. Assim, depósitos minerais são «quaisquer ocorrências minerais que, pela sua raridade, alto valor específico ou importância na aplicação em processos industriais das substâncias nelas contidas, se apresentam com especial interesse económico». As ocorrências que não apresentem as características anteriormente referidas são chamadas de massas minerais. Apesar de serem tecnicamente recursos geológicos, esta lei não abrange nem as ocorrências de hidrocarbonetos nem as formações geológicas com aptidão para o armazenamento de dióxido de carbono.

muitos portugueses. Na Fig. 1.1 são apresentadas as áreas de maior potencial para ocorrência de recursos metálicos em Portugal.

As famosas pirites, o volfrâmio, o ouro, as inúmeras variedades de rocha ornamental, o carvão e o urânio são apenas alguns dos exemplos modernos. Mas, tal como afirmam Moura & Velho (2012), «*poucos terão uma visão global da grande variedade de recursos já explorados ou exploração no nosso território*».

Segundo Resolução do Conselho de Ministros n.º 78/2012 «*As estimativas actuais do valor dos recursos geológicos nacionais passíveis de exploração permitem obter, numa primeira aproximação simplificada, um valor de cerca de 1x o PIB nacional. Apesar de a sua expressão ser ainda reduzida, o sector mineiro, constituído pelos minérios metálicos, rochas ornamentais, minerais industriais e rochas industriais, tem revelado um impacto positivo na economia nacional, atingindo cerca de 975 milhões de euros em 2010, motivado, sobretudo, pelos minérios metálicos (44 %) e pelas rochas industriais (35 %)*».

Apesar do enorme potencial mineral de Portugal e do evidente impacto sócio-económico que a exploração de recursos tem no país, este acaba por ser um assunto relativamente difícil dada a complexidade das variáveis envolvidas. Para além das especificidades geológicas inerentes a cada ocorrência (tipo de depósito, teor do minério, etc.) e dos aspectos mineiros (acessibilidade ao jazigo, métodos de desmonte, entre outros), há importantes factores como os tecnológicos, económicos e políticos que têm um peso determinante no processo de tomada de decisão. Moura & Velho (2012) vão um pouco mais longe no que toca ao papel da política no âmbito dos recursos geológicos, afirmando que um país que desconhece a sua geologia (ou a conhece mal) irá forçosamente atrasar qualquer descoberta importante na área dos recursos minerais.

Foi, precisamente, no sentido de tentar corrigir esse tipo de lacunas que, em 2012, foi aprovada a **Estratégia Nacional para os Recursos Geológicos — Recursos Minerais (ENRG-RM)**. De facto, neste documento são postas em evidência algumas das fragilidades do sector, das quais se podem destacar:

(i) Portugal apresenta actualmente um défice no conhecimento de base do seu território;

(ii) as áreas com potencial já identificado, apesar de serem já objecto de pedidos de atribuição de direitos de prospecção e pesquisa, de contratos de prospecção e pesquisa ou de contratos de concessão de exploração, não estão, contudo, a ser suficientemente estudadas.

Criada com base no pressuposto da vantagem competitiva da localização de Portugal no contexto europeu, a ENRG-RM tem como objectivo a promoção do sector mineiro e como foco estratégico inicial os minérios metálicos.

O plano de acção da ENRG-RM assenta em quatro eixos de actuação, dos quais é o Eixo B (Desenvolvimento do conhecimento e valorização do potencial nacional) que maior interesse apresenta no contexto da prospecção e pesquisa. De entre as medidas propostas destacam-se: o aumento do conhecimento do potencial nacional, com identificação

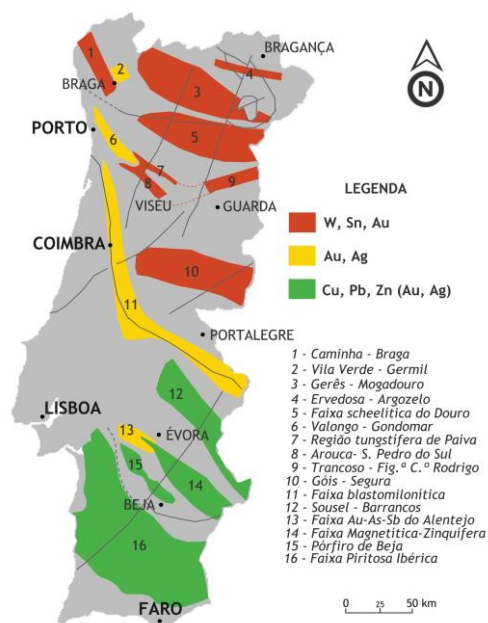


Fig. 1.1. Áreas de maior potencial para ocorrência de recursos minerais metálicos (adaptado de Martins (2012) e LNEG (2015)).

preliminar de recursos passíveis de exploração, numa óptica de fomento mineiro; partilha de conhecimento; formação especializada; promoção de sinergias entre entidades públicas e privadas; promoção do estudo dos recursos geológicos no ensino.

O estanho, o volfrâmio e o ouro em Portugal

Muito embora a esmagadora maioria das explorações de estanho e volfrâmio em Portugal tenham sido de dimensões relativamente pequenas durante parte importante do século XX, esta situação não impediu o país de se tornar num produtor de relevo mundial, tendo mesmo conseguido assegurar um lugar de relativa importância na produção de concentrados de volfrâmio entre 1930 e 1990.

Actualmente a mina da Panasqueira é a única que explora **volfrâmio** em Portugal. Contando-se entre uma das últimas da Europa, a Panasqueira será, provavelmente a mina de volfrâmio mais antiga do mundo ainda em processo de lavra. Entre os minerais de volfrâmio mais comuns em Portugal, destacam-se, por ordem decrescente de importância: **volframite** (ferberite (FeWO_4) e huebnerite (MnWO_4)) e **scheelite** (Ca WO_4).

No caso do **estanho**, a **cassiterite** (SnO_2) é praticamente o único mineral com interesse económico. Muito embora este seja um importante subproduto da exploração dos sulfuretos polimetálicos da Faixa Piritosa Ibérica (segundo Moura & Velho (2012) a mina de Neves Corvo foi a maior mina de estanho em actividade na Europa entre 1990 e 2001), é em associação com o volfrâmio que o estanho ganha particular relevância. De facto torna-se difícil abordar estes metais separadamente na medida em que ocorrem normalmente associados, constituindo a chamada **Província Metalogenética Estanífera e Tungstífera Ibérica**.

Ambos os metais ocorrem tanto em depósitos primários como secundários. No caso dos primários, as ocorrências estão maioritariamente, directa ou indirectamente, associadas a granitóides de diferentes tipologias. São geralmente encontrados em auréolas metamórficas, por vezes a uma distância considerável dos afloramentos graníticos, casos nos quais é assumida a relação, em profundidade, com cúpulas graníticas não aflorantes (*ibid.*). Entre outros, são exemplo disso: Panasqueira, Argemela, Góis, Borralha, Vale das Gatas, Ribeira e Argozelo. Para além dos depósitos primários associados a granitóides, há a referir os casos dos depósitos de scheelite do tipo *skarn*, como o de Tabuaço (S. Pedro das Águias).

No que se refere ao **ouro**, metal precioso de inquestionável valor e utilidade, Carvalho (1979) refere que a sua lavra se exerceu «*mais intensa e prolongadamente ainda o nosso país não existia*». Com efeito, o ouro foi a substância metálica mais activamente procurada por todos os povos que se estabeleceram em território português.

A intensa actividade mineira promovida por fenícios, romanos e árabes nos jazigos auríferos portugueses, quer primários, quer secundários, foi decaindo tendencialmente até à modernidade. Contudo, mesmo não havendo produção actualmente, o potencial para mineralizações de ouro em Portugal é relevante. Moura & Velho (*op. cit.*) salientam a importância do potencial de depósitos auríferos como os de Castromil, Jales-Gralheira, Montemor-o-Novo ou Penedono.

Neste contexto, há que referir a mina de Escádia Grande, alvo de importante exploração romana e árabe, e que é uma das ocorrências de maior destaque na área em estudo neste trabalho. Do mesmo modo, há que mencionar as ocorrências de Vale Pião e Nossa Senhora da Guia, ambas nas imediações de Góis, nas quais se explorou estanho e volfrâmio e é referida a ocorrência de ouro. As características particulares destes jazigos e de outras ocorrências conhecidas na área de estudo serão descritas no Capítulo 2.

O facto de à Província Metalogenética Estanífera e Tungstífera da Península Ibérica ser comum a associação das mineralizações estano-volframíticas com metais

preciosos como o ouro e a prata, faz da região centro de Portugal dos mais apetecíveis alvos para a prospecção e exploração mineira.

De facto, de acordo com dados da DGEG, de 28 de Julho de 2015, das 93 áreas para prospecção e pesquisa de recursos minerais actualmente existentes em Portugal (incluindo contractos em vigor e pedidos efectuados), 63 são relativas a recursos minerais metálicos (Fig. 1.2). Dessas, 23 estão atribuídas à prospecção de estanho/volfrâmio e 20 a ouro. Há que ter em consideração que os números apresentados têm em atenção as principais substâncias alvo de prospecção; se forem tidas em conta todas as referências relativas a estes três metais, o número de áreas de prospecção aumenta para 62. Ou seja, das actuais áreas de prospecção e pesquisa, cerca de 70% incluem estanho, volfrâmio e/ou ouro.

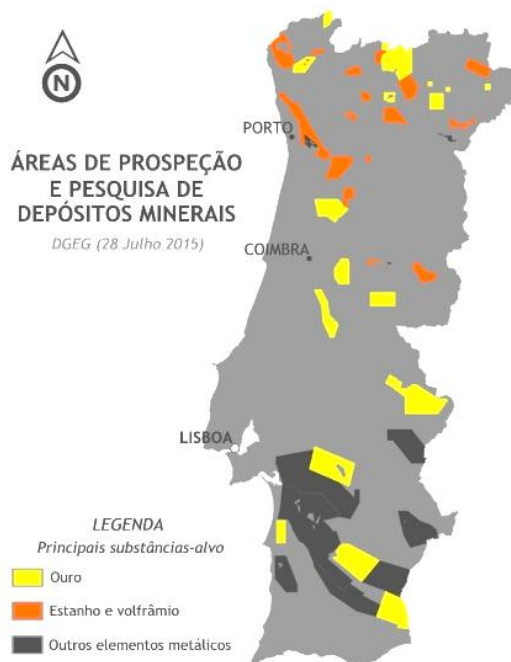


Fig. 1.2. Áreas de prospecção e pesquisa de depósitos minerais (DGEG, 28 de Julho de 2015).

A perspectiva europeia

Desde 2008 que a União Europeia tem vindo a desenvolver esforços que visam o combate à sua excessiva dependência no que toca a uma série de recursos, particularmente os minerais. Destes esforços resultou a análise a um conjunto de matérias-primas, das quais um determinado conjunto foi declarado como sendo crítico. Esta classificação foi aplicada quando «os riscos de redução do abastecimento e respectivos impactos na economia são muito altos quando comparados com as matérias-primas em geral» (Comissão Europeia, 2010).

As avaliações mais recentes (Comissão Europeia, 2014c) incluem a análise a 54 recursos minerais, dos quais 20 foram classificados como críticos (Fig. 1.3).

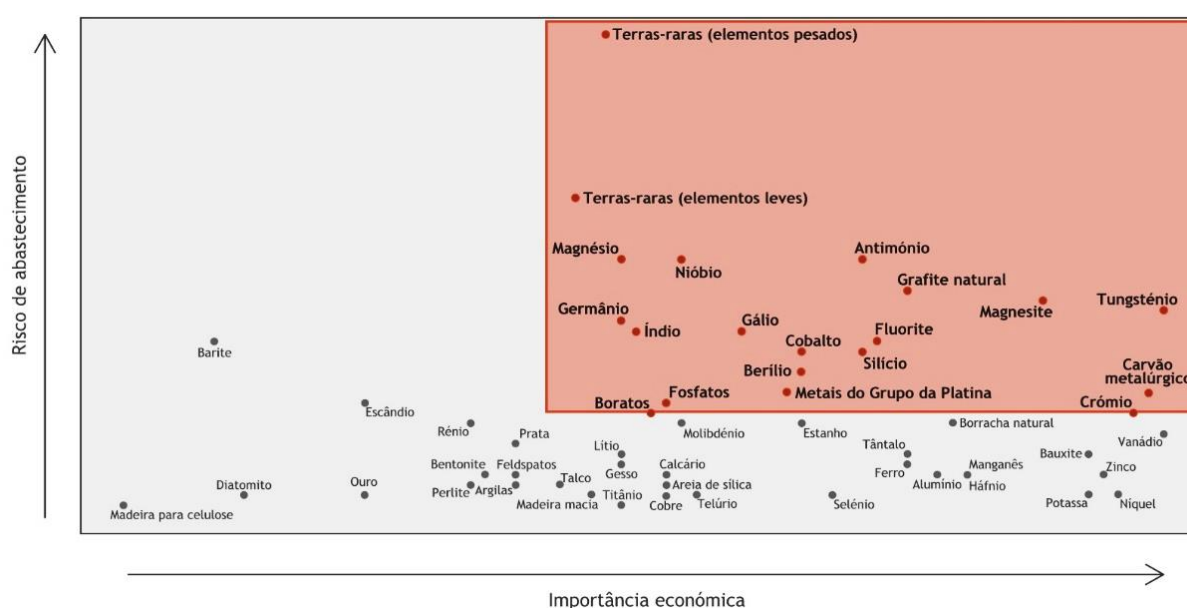


Fig. 1.3. Matérias-primas críticas para a UE (fonte: Comissão Europeia, 2015).

No âmbito da presente dissertação, interessa destacar a presença do volfrâmio nesta lista, na qual surge como um dos materiais de maior importância económica. Segundo a Comissão Europeia (2010, 2014a) a classificação do volfrâmio como matéria-prima crítica para a UE é atribuída pelos seguintes motivos:

- o fornecimento da matéria-prima é dominada pela China, a qual tem enormes reservas de tungsténio a nível mundial, implicando elevados riscos quantitativos e distorções de preço;
- riscos crescentes do comportamento «predatório» da China no mercado da sucata de tungsténio;
- a substituição está limitada pelos custos de materiais/tecnologias alternativas, menor desempenho e piores alternativas em termos ambientais;
- perda mundial do conhecimento se a cadeia de valor do tungsténio na UE for destruída, pois é líder no desenvolvimento de diversos produtos contendo tungsténio em aplicações automóveis, aeroespaciais, médicas, de iluminação, o que implica que o desaparecimento da indústria da UE pode trazer dependência total de importações para diversas indústrias chave.

Embora, no sentido oposto, nem o estanho nem o ouro sejam actualmente considerados matérias-primas críticas, há que ter em atenção que esta classificação é essencialmente devida a uma visão de estratégia de mercado global, a longo prazo, e não à importância relativa do sector mineiro ou de um recurso para determinado país.

1.1.2. A detecção remota

A **detecção remota** (DR) «é a ciência e a arte de obter informação sobre determinada área ou fenómeno sem entrar em contacto directo com o objecto em investigação» (Lillesand *et al.*, 2008). Por outro lado, a DR pode ser também definida como a disciplina científica dedicada à aquisição, processamento e interpretação de imagens recolhidas através de sensores instalados em diferentes tipos de plataformas, normalmente aviões ou satélites (Sabins, 1997). A **aquisição** refere-se à tecnologia empregue na obtenção dos dados; o **processamento** ao conjunto de métodos e ferramentas utilizados na conversão dos dados recolhidos em imagens; a **interpretação** consiste na transformação da imagem em informação útil, tendo em conta os objectivos do estudo em causa (*ibid.*).

A utilização de fotografias aéreas, com início em meados do século XIX, pode ser considerada como os primórdios da DR. Estas continuam a ser um dos métodos mais aplicados nas Geociências, facto que se deve principalmente à elevada resolução espacial e à possibilidade de visão estereoscópica sobre o terreno. Apesar das primeiras fotografias da Terra tiradas a partir do espaço terem começado a surgir a partir dos anos 60 do século XX, a DR moderna só terá começado verdadeiramente em 1972, com o lançamento do satélite que mais tarde viria a ser conhecido como Landsat 1 (Goetz *et al.*, 1983; Gupta, 2003).

Tanto o tipo de sensores utilizados como as técnicas de processamento de informação têm registado grandes avanços em anos recentes. Desde as imagens multi- e hiperespectrais, imagens térmicas, de radar, de espectrometria, dados de gravidade, magnéticos, radiométricos, do sonar, ao laser e ao LIDAR, as aplicações da DR são inúmeras.

Do conjunto de áreas científicas que utilizam as ferramentas de DR destacam-se a Meteorologia, Oceanografia, Biologia, Agronomia, Gestão Florestal, Arqueologia, Ordenamento do Território e, claro, quase todas as disciplinas integrantes das Geociências (Fonseca & Fernandes, 2004). Tal como salienta Gupta (2003), a DR tem vindo a

demonstrar um enorme potencial de aplicações nas mais diversas áreas das Geociências: geomorfologia, geologia estrutural, cartografia geológica, prospecção de recursos minerais, estratigrafia, geotecnia, hidrogeologia, estudos geoambientais, entre outros.

Independentemente do tipo de sensor em causa, entre as principais vantagens da DR incluem-se: (1) permite a análise a nível regional devido à cobertura sinóptica; (2) possibilita a análise numérica e o processamento de informação de várias regiões do espectro electromagnético; (3) permite a integração de diferentes tipos de informação em simultâneo; (4) o preço da cobertura de satélite (por km²) é geralmente mais baixo do que a fotografia aérea (Goetz *et al.*, 1983; Sabins, 1999; Lillesand *et al.*, 2008). No que diz respeito à resolução espacial das imagens de satélite, tida no passado como uma das suas grandes limitações (Rabaça *et al.*, 2004), nos sensores mais recentes esta já pode ser da ordem dos 0,5 a 1m, permitindo a realização de trabalhos de grande pormenor.

Ferramenta ao serviço das Geociências

Desde há alguns anos que a prospecção de recursos geológicos tem assistido a uma tendência generalizada: uma vez que a maioria dos jazigos de fácil acesso, à superfície ou muito próximo dela, já foi descoberta, tem sido necessário explorar regiões cada vez mais longínquas, de acesso mais complicado, de geologia cada vez mais complexa e sobre as quais pouca informação está disponível (Rajesh, 2004). Neste sentido, a DR surge como uma das tecnologias de ponta ao serviço das Geociências e, em particular, da prospecção de recursos.

As técnicas de DR podem ter um papel de relevo na prospecção de ocorrências minerais, reduzindo efectivamente o custo destes empreendimentos. Das principais vantagens já referidas, as perspectivas sinóptica, multiespectral e, por vezes, multi-temporal da DR podem ajudar a identificar rapidamente ocorrências minerais de possível interesse económico (Gupta, 2003).

Sabins (1997) identifica as quatro principais formas de emprego da DR na prospecção mineral como sendo: (1) cartografia regional de lineamentos e tendências estruturais em províncias metalogénicas; (2) cartografia de padrões de fracturação locais que podem controlar ocorrências minerais; (3) reconhecimento de fenómenos de alteração relacionados com ocorrências minerais específicas; (4) dados de geologia de base.

A principal limitação da DR no contexto das Geociências está relacionada com o seu alcance. Exceptuando algumas regiões do espectro electromagnético que, em determinadas condições, podem fornecer informação até alguns centímetros de profundidade, a penetração das técnicas de DR no terreno raramente ultrapassa os micrómetros. Na maior parte dos casos a DR não fornece informação directa sobre a existência de determinada ocorrência ou não, sendo, para isso, necessário utilizar a informação recolhida como guia. De facto, *«a lição mais importante a reter em relação à DR na prospecção de recursos minerais é a de que esta é aplicada ao reconhecimento de rochas, minerais e estruturas relacionadas com determinado recurso e não ao recurso propriamente dito»* (Vincent, 1997). Neste aspecto, são particularmente importantes para a prospecção o contexto geológico geral, zonas de alteração, estrutura, lineamentos, redes de drenagem e anomalias na cobertura vegetal (Gupta, 2003).

Apesar das evidentes vantagens, a DR nunca deverá ser utilizada como alternativa à investigação no terreno; pelo contrário, muitas vezes a interpretação dos dados depende directamente do grau de conhecimento da região. Assim, a maioria das interpretações realizadas necessitará de validação e essa apenas pode ser feita *in situ* (Gupta, *op. cit.*; Prost, 2014). Prost (2014) adianta, ainda, que *«o poder da análise da DR depende da integração de informação complementar de diferentes fontes»*, concluindo-se a integração não só é uma etapa necessária, como também fundamental.

A detecção remota em Portugal

No contexto português, as ferramentas de DR têm vindo a ser aplicadas com alguma regularidade e em diversas temáticas das Geociências tais como a identificação e caracterização de rochas ornamentais, cartografia geológica, análise de risco ambiental associado a antigas explorações mineiras, geomorfologia, perigosidade sísmica, prospecção de pegmatitos, estudos de vulnerabilidade ambiental (especialmente relacionados com recursos hídricos), ordenamento do território, estudo de áreas ardidas e no âmbito de estudos agro-florestais.

Apesar da relativa abundância de referências e estudos relativos aos temas mencionados, no que se refere à questão específica dos recursos minerais metálicos, as fontes escasseiam. Na pesquisa efectuada no âmbito desta dissertação poucas foram as referências encontradas relativas à aplicação da DR na prospecção de minerais metálicos em Portugal, publicadas ou não publicadas: Andrade (1983, 1984*, 1985, 1990*), Pereira (1985), Waters *et al.* (1988)*, Farinha & Rodrigues (1989)*, Viegas *et al.* (1991), Farinha *et al.* (1994)*, Ramos (1997)*, Pinto *et al.* (2000)*, Pereira *et al.* (2012)* e Sinergio (2013). (* in Tecnibase - Base de Dados de Documentação Técnica não Publicada, LNEG).

A região centro de Portugal

O alerta que parte importante da comunidade geocientífica de Portugal tem vindo a deixar em décadas recentes, relativamente ao que falta fazer em relação ao conhecimento da geologia portuguesa, é de sobremaneira evidente quando se aborda a cobertura da cartografia geológica nacional à escala de 1:50 000. De facto, das quase 180 cartas que deveriam fazer a referida cobertura, 44 continuam por publicar, o que corresponde a praticamente um quarto da área continental do país.

O mais singular nesta lacuna é o facto de as regiões cuja cartografia não foi publicada corresponderem precisamente àquelas que os especialistas apontam como sendo das mais promissoras quando se fala no potencial dos georrecursos em Portugal: nordeste transmontano (Bragança - Vila Real), região da Beira Baixa e Baixo Alentejo (*vide* Fig. 1.4). No que se refere à Beira Baixa, há que relembrar que é precisamente nesta região que se encontram as principais ocorrências minerais que formam a Província Metalogenética Estanífera e Tungstífera e que nela se situam ou situaram importantes explorações.

As principais razões para a deficiente cobertura da cartografia geológica prender-se-ão com motivos de índole prática: é um facto que as regiões cuja cartografia não foi ainda publicada correspondem, em grande parte, às zonas de relevo mais vigoroso ou mais isoladas no nosso país, o que dificulta consequentemente, qualquer empreendimento que aí se efectue. Contudo, é precisamente como resposta a esse tipo dificuldades que se têm efectuado grandes avanços na DR, permitindo o estudo distanciado de regiões do globo

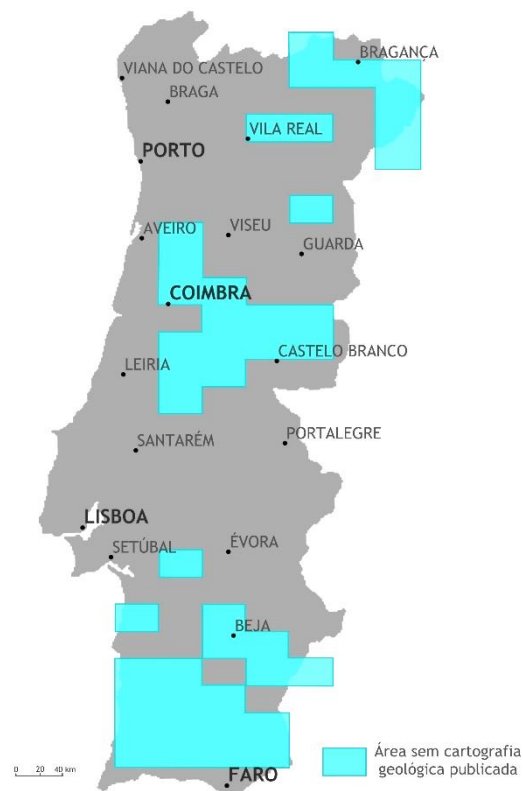


Fig. 1.4. Áreas do território continental português sem cartografia geológica à escala 1/50 000 (adaptado de LNEG, 2015).

de maior dificuldade de acesso, nas quais se incluem alguns dos climas mais hostis do planeta.

No caso particular da região centro de Portugal, valerá a pena citar Andrade (1983): «*Infelizmente a geologia da região centro de Portugal é mal conhecida, especialmente no que diz respeito às formações do Complexo Xisto-Grauváquico*». Note-se que, passados trinta e dois anos, a actualidade desta frase mantém-se.

Comprovadas as vantagens da utilização de imagens de satélite no auxílio a projectos de cartografia geológica na região centro do país (Rabaça *et al.*, 2004), as técnicas de DR podem tornar-se numa ferramenta não só útil, como adequada, ao auxílio nos trabalhos de prospecção de jazigos estano-volfrâmicos e auríferos na região entre Góis e Castanheira de Pêra.

1.2. Objectivo

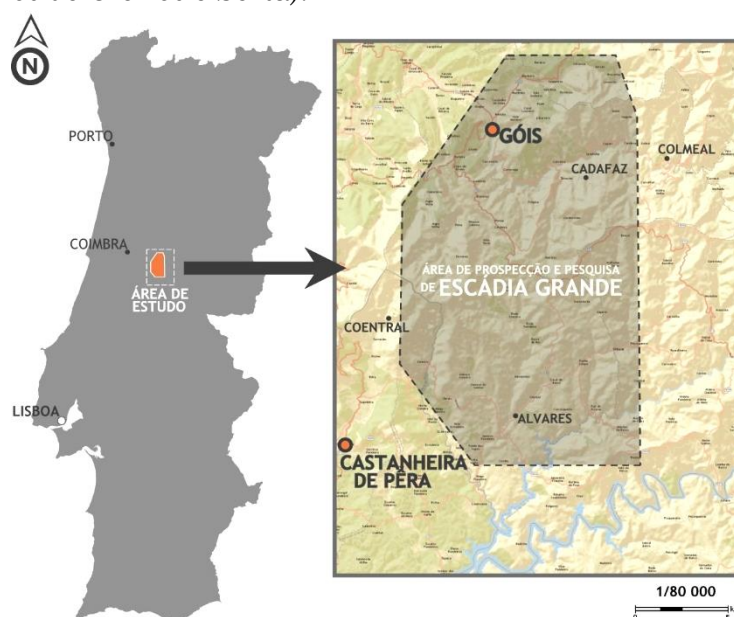
A presente dissertação pretende utilizar técnicas de detecção remota como ferramenta no auxílio à prospecção de jazigos de estanho, volfrâmio e ouro, na região de Góis-Castanheira de Pêra, em Portugal Continental.

Através da utilização de critérios de fotointerpretação, da aplicação de técnicas de processamento de imagens digitais e respectiva interpretação, assim como da integração dos resultados obtidos com dados de cartografia geológica, de altimetria e geofísicos, pretende-se identificar e seleccionar zonas potencialmente relacionadas com a ocorrência dos metais referidos.

A selecção das zonas potenciais tem como objectivo a escolha de alvos para posterior estudo em pormenor, cujo alcance já não é abrangido no âmbito deste trabalho.

1.3. Área de estudo

O território em estudo neste trabalho corresponde sensivelmente à região abrangida entre as localidades de Góis – Castanheira de Pêra, no centro de Portugal (Fig. 1.5). Cobrindo uma área total de 627 km², a área de estudo abrange os distritos de Coimbra (municípios de Lousã, Arganil, Góis e Pampilhosa da Serra), de Leiria (municípios de Castanheira de Pêra e Pedrógão Grande) e ainda uma pequena parte do distrito de Castelo Branco (municípios de Oleiros e Sertã).



Na região em estudo está inserida a área de Escádia Grande, cujos direitos de prospecção e pesquisa de substâncias minerais (ouro, prata, cobre, chumbo, zinco, estanho, antimónio e volfrâmio) são detidos pela EDM, S.A. desde Setembro de 2014.

De forma aproximadamente rectangular, truncada em todos os vértices excepto no sudeste, a área de prospecção e pesquisa Escádia Grande possui cerca de 252 km², intersectando o distrito de Coimbra (municípios de Arganil, Góis e Pampilhosa da Serra) e uma pequena parte do distrito de Leiria (municípios de Castanheira de Pêra e Pedrógão Grande).

Localizada no centro de Portugal continental, esta área de prospecção e pesquisa está aproximadamente 200 km a nordeste de Lisboa e 50 km a leste de Coimbra, dispondo de múltiplos acessos rodoviários, desde auto-estradas a estradas municipais, e encontrando-se relativamente próxima de redes de distribuição de água e de energia eléctrica.

Apesar de a área efectivamente estudada neste trabalho corresponder àquela mencionada, o facto de na área de na prospecção e pesquisa de Escádia Grande ocorrerem as mineralizações mais importantes de Sn-W e Au-Ag actualmente conhecidas, justifica que algumas das considerações mais detalhadas se referiam apenas a esta área específica.

1.4. Metodologia geral

A metodologia geral seguida na presente dissertação pode ser dividida em quatro etapas fundamentais, tal como esquematizado na Fig. 1.6.

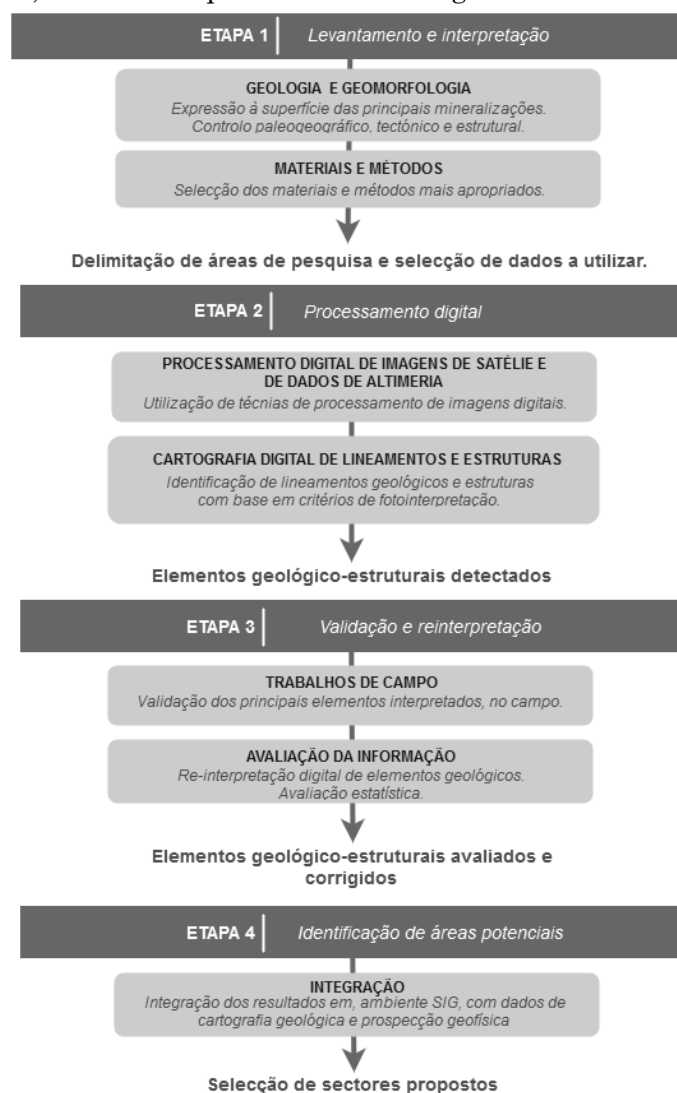


Fig. 1.6. Metodologia geral.

Na **Etapa 1** procedeu-se à definição do problema. Essencialmente por meio de consulta de bibliografia, estudou-se a geologia e geomorfologia regionais, assim como as principais mineralizações e a sua possível expressão à superfície. Definido o problema, seleccionaram-se os materiais e os métodos mais apropriados para a sua resolução.

Tendo por base as decisões tomadas na primeira etapa, a **Etapa 2** consistiu na extracção de informação com vista à identificação de elementos geológico-estruturais da área em estudo a partir da aplicação de técnicas de processamento digital de imagens de satélite e de dados de altimetria.

A **Etapa 3** contemplou duas tarefas fundamentais com vista ao objectivo final: (i) levantamento de campo, com o intuito de observar e validar no terreno os principais elementos geológicos identificados por detecção remota; (ii) reinterpretação dos elementos resultantes da interpretação preliminar e avaliação estatística dos resultados.

A derradeira etapa (**Etapa 4**) consistiu na selecção de sectores prioritários para o desenvolvimento de trabalhos de prospecção e pesquisa de maior detalhe. Toda a informação obtida foi integrada em ambiente SIG com dados de cartografia geológica e de prospecção geofísica. Definidos os critérios mais importantes para a selecção dos referidos sectores, foram identificadas as áreas de interesse.

Os procedimentos metodológicos implementados em cada uma das etapas agora sumariamente descritas encontram-se explicadas em pormenor no Capítulo 4.

1.5. Organização da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos.

No primeiro capítulo é feita a apresentação global do trabalho, estabelecendo-se os respectivos objectivos, enquadrando-se a temática abordada, apresentando-se a localização e características gerais da área de estudo e a metodologia geral aplicada.

No segundo capítulo reúne-se a informação relevante do ponto de vista geológico, estrutural e geomorfológico, enquadrando-se a área de estudo e fazendo-se a inventariação e breve descrição das ocorrências minerais conhecidas.

O terceiro capítulo expõe os fundamentos da detecção remota, assim como conceitos referentes às técnicas de processamento de imagens digitais. São, também, tecidas algumas considerações sobre lineamentos e estruturas circulares, o seu significado e os critérios utilizados na respectiva identificação em detecção remota. Este capítulo termina com a exposição de conceitos relativos a prospecção geofísica (radiometria) e dados altimétricos.

No quarto capítulo apresenta-se a descrição pormenorizada das várias etapas metodológicas aplicadas neste trabalho, listando-se os materiais e métodos utilizados.

Os resultados obtidos são apresentados no quinto capítulo, que inclui: (i) os resultados da aplicação de técnicas de processamento de imagens digitais sobre imagens de satélite e dados de altimetria; (ii) exposição dos trabalhos de campo levados a cabo e respectivas conclusões; (iii) reavaliação dos elementos identificados por detecção remota e respectiva análise; (iv) selecção de sectores de interesse através da integração dos dados obtidos com cartografia geológica e dados de prospecção geofísica.

No sexto, e último, capítulo são apresentadas as conclusões e considerações finais relativas ao estudo desenvolvido, tecendo-se breves sugestões para trabalhos futuros.

2. Enquadramento geológico e geomorfológico

2.1. Geologia

O Maciço Hespérico, representando o mais ocidental segmento do Varisco europeu, é um sector geotectónico fundamental para a Península Ibérica e, particularmente, para Portugal (Parra, 1988; Ribeiro 2013). A região em estudo localiza-se sobre uma das unidades geotectónicas principais do Maciço, a Zona Centro Ibérica (ZCI), perto da Zona de Cisalhamento Porto-Tomar-Córdoba (ZCPTC), que representa o contacto entre a ZCI e a Zona de Ossa-Morena (ZOM). A geologia da área abrangida pelo presente trabalho é pouco conhecida em detalhe e a falta de uma cartografia geológica sistemática tem sido um entrave à melhor compreensão de alguns problemas geológicos regionais (Oliveira, 1990; Pereira *et al.*, 2004).

Efectivamente, no que respeita à cartografia geológica, a única porção da área em estudo cuja cartografia de maior pormenor se encontra publicada corresponde à Folha 19-D Coimbra-Lousã (Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000). As folhas 20C, 23B e 24A, também na escala 1/50 000, que cobrem a restante área, não se encontram publicadas. O mesmo sucede com as folhas 3 e 4 da Carta Geológica de Portugal na escala 1/200 000. Assim, dos 627km² que constituem área em estudo nesta dissertação, apenas se encontram 118 km² (18%) publicados na cartografia de maior detalhe.

A região entre Góis – Castanheira de Pêra é essencialmente constituída por sequências litoestratigráficas monótonas nas quais alternam metassedimentos de origem turbidítica (tipo *flysch*), atribuídas ao Neoproterozóico, e incluídas no Supergrupo Dúrico-Beirão (Oliveira, 1990; Romão, 2001). Discordantes a estas sucessões, sobrepõem-se quartzitos ordovícicos. Embora sejam abundantes os exemplos regionais de intrusões graníticas aflorantes associadas à orogenia hercínica, na área em estudo não se conhece nenhuma ocorrência. No entanto, na área considerada aflora o granito de Coentral, maciço ao qual os dados mais recentes atribuem uma idade de instalação claramente ante-hercínica. Muito mais recentes, aflorando quase exclusivamente na aresta NW da área, ocorrem os depósitos meso-cenozóicos, essencialmente areníticos e arcósicos. Na Fig. 2.1 apresenta-se um esboço geológico da região da Beira Baixa.

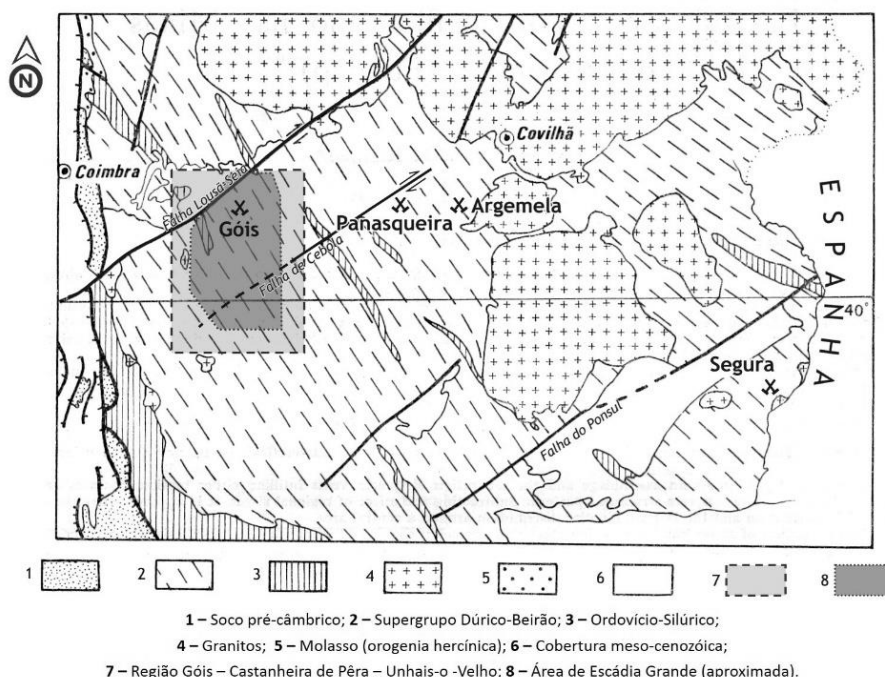


Fig. 2.1. Geologia regional da Beira Baixa
(adaptado de Inverno & Ribeiro, 1980).

2. Enquadramento geológico e geomorfológico

Na Fig. 2.2 apresenta-se um mapa geológico mais detalhado da região em estudo. Cedido pela EDM, este mapa resulta da fusão de dados das cartas geológicas de Portugal às escalas 1/50 000 (folha 19-D) e 1/500 000 e ainda do trabalho de Meireles *et al.* (2013).

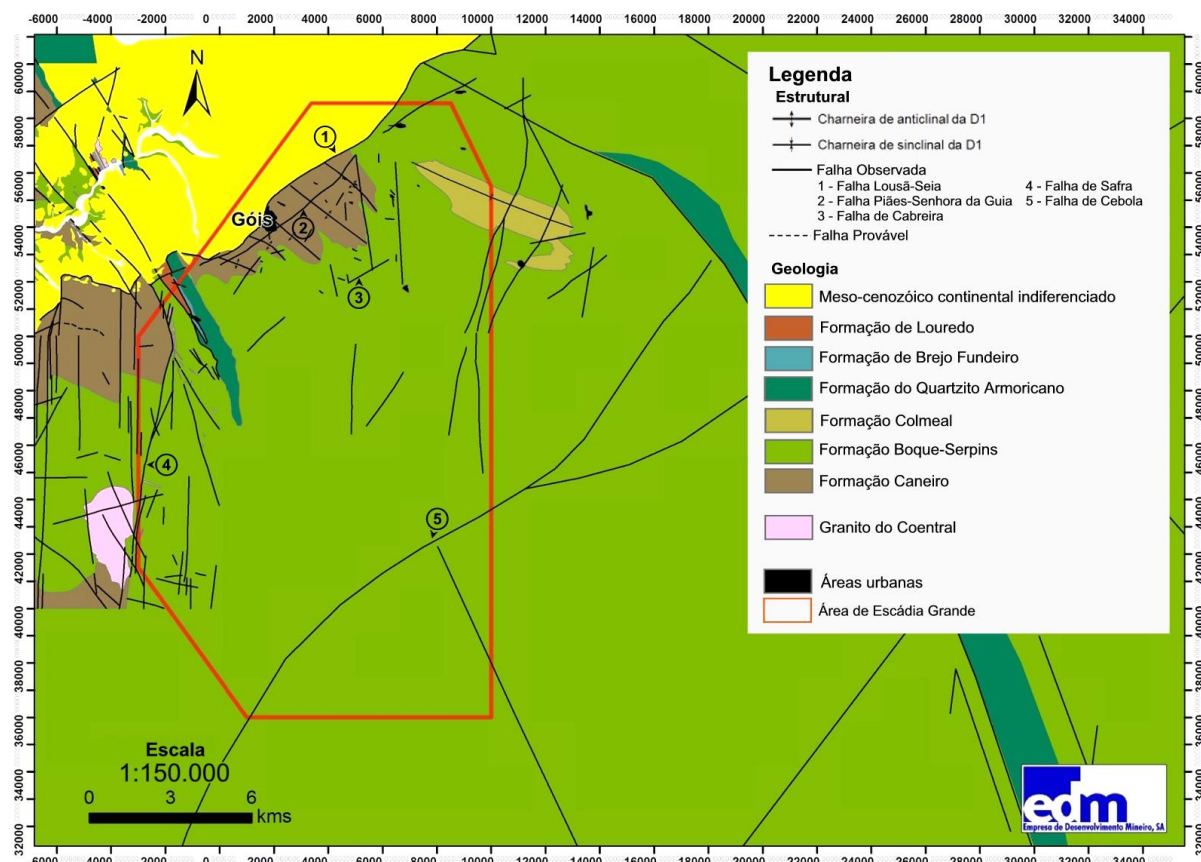


Fig. 2.2. Mapa geológico da área em estudo.

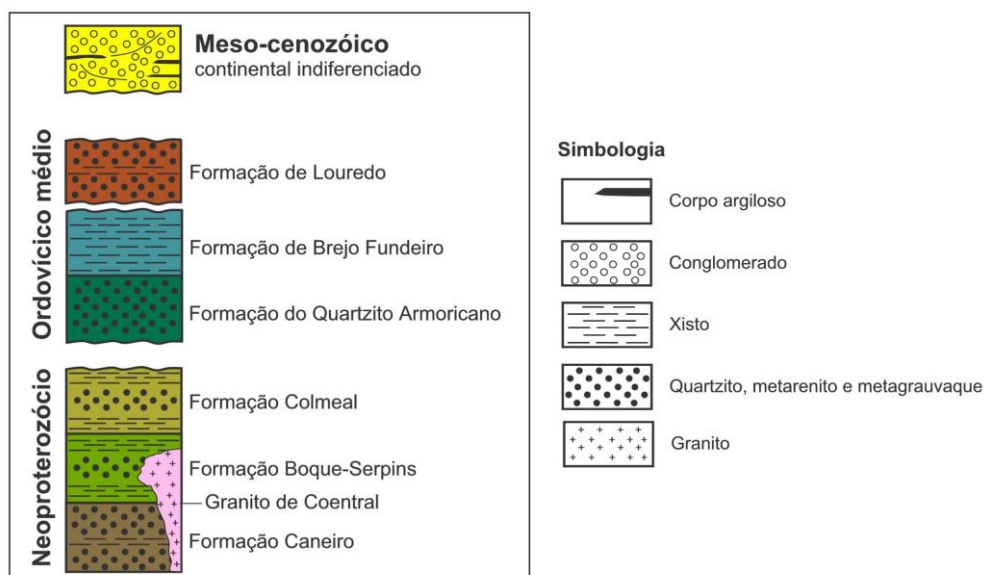


Fig. 2.3. Coluna litoestratigráfica sintética simplificada da área de estudo (não está à escala).

Na Fig. 2.3 apresenta-se a coluna litoestratigráfica simplificada da área entre Góis e Castanheira de Pêra. Seguidamente far-se-á um resumo das principais unidades geológicas da área em estudo e dos aspectos tectónicos com maior relevância para o presente trabalho.

2.1.1. Neoproterozóico - Supergrupo Dúrico-Beirão

Muito embora as sequências turbidíticas da ZCI, claramente ante-ordovícicas, recebam a tradicional designação de Complexo Xisto-Grauváquico (CXG), actualmente é consensual a sua designação como **Supergrupo Dúrico-Beirão** (Meireles *et al.*, 2014). O Supergrupo Dúrico-Beirão corresponde aos materiais depositados em grande bacia sedimentar, de sucessão xisto-grauváquica, e que se distribui por duas bacias principais, correspondentes às sequências dos grupos do Douro e das Beiras (Silva, 2005; Meireles *et al.*, 2014). No contexto deste trabalho, interessa apenas abordar o **Grupo das Beiras**.

Grupo das Beiras – sector de Góis

Meireles *et al.* (2014) indicam que no Grupo das Beiras se encontram duas sequências sedimentares, separadas por uma discordância de idade neoproterozóica, com características litoestratigráficas e estruturais distintas: Lousã (sequência superior) e Fróia (sequência inferior). Na sequência Fróia, os mesmos autores destacam a presença de xistos ardósiferos e uma unidade vulcano-sedimentar de expressão cartográfica; já a sequência superior, Lousã, é predominantemente de carácter turbidítico. O sector de Góis encontra-se incluído na sequência Lousã, e a sequência litoestratigráfica, da base para o topo, é a seguinte: Formação Caneiro, Formação Boque-Serpins e Formação Colmeal. De acordo com os trabalhos de Soares *et al.* (2007) e Meireles *et al.* (2013), referir-se-ão as características mais relevantes das mencionadas formações.

A **Formação Caneiro** (N_{Ca}) é essencialmente constituída por grauvaques muito possantes e grosseiros, dispostos em bancadas decimétricas a métricas. Estas bancadas encontram-se separadas por intercalações pelíticas laminadas, de mais reduzida expressão. É estimada uma espessura mínima de 300m para a parte aflorante da unidade, muito embora se ressalve a dificuldade existente na sua determinação devido ao dobramento apertado e à falta de horizontes-guia. A transição para a unidade a topo é gradual e marcada pelo predomínio de níveis pelíticos laminados, por vezes xistos negros, ricos em matéria orgânica e com sulfuretos disseminados.

Fundamentalmente constituída por xistos argilosos, laminados, com intercalações de siltitos, a **Formação Boque-Serpins** (N_{BS}) sobrepõe-se à Formação Caneiro. Por vezes ocorrem intercalações de grauvaques, decimétricas a métricas, que não ultrapassam os 10 a 15m. Em bancadas de grauvaques foi assinalada a presença de clastos de pelitos negros fosfatados. Para o topo da unidade existem quartzograuvaques negros, por vezes espessos». É estimada uma espessura mínima de 750m para a parte aflorante da unidade.

A unidade mais recente do Grupo das Beiras no sector de Góis é a **Formação Colmeal** (N_{Co}). Individualizada em 2013, por Meireles *et al.*, esta formação ocorre em continuidade litoestratigráfica com a Boque-Serpins, tratando-se de uma «*sequência gresopelítica, siliciosa, caracterizada pela presença de barras de quartzarenitos, quartzovaques e quartzitos, intercaladas em xistos argilosos*». Segundo estes autores, a Formação Colmeal foi detectada sempre a topo da Formação Boque-Serpins e associada a charneiras de sinclinais da D1 varisca, de orientação próxima E-W.

De acordo com Meireles *et al.* (2014), «*Para o Grupo das Beiras, não há ainda em Portugal, um consenso claro sobre a sua estratigrafia pela falta de uma visão global integradora sobre as várias sequências litoestratigráficas e respectivas correlações regionais*».

2.1.2. Paleozóico

No sinclinal de Buçaco-Penedos de Góis distinguem-se três formações, da mais antiga para a mais recente: (1) **Formação do Quartzito Armoricano** (O_{QA}) – constituída por quartzitos, em bancadas decimétricas a métricas, apresentando na base conglomerados e microconglomerados em vários níveis, nas primeiras dezenas de metros; para o topo, os quartzitos dão lugar a bancadas mais delgadas, com intercalações de quartzitos xistóides e metapelitos; (2) **Formação de Brejo Fundeiro** (O_{BF}) – constituída por metapelitos escuros com intercalações, que chegam a ser centimétricas, de metassiltitos e metarenitos finos. (3) **Formação de Louredo** (O_{Lo}) – constituída por arenitos finos em bancadas decimétricas, intercaladas por metapelitos cinzentos a negros, por vezes bastante espessos (Soares *et al.*, 2007).

2.1.3. Mesozóico e Cenozóico

Na área em estudo, os depósitos mais antigos pós-paleozóicos datam do Cretácico e perfazem o **Grupo do Buçaco**. Nele estão incluídas as Formações de Lomba do Alveite, Picadouro e Choisa, essencialmente constituídas por arenitos e arcoses de granulometria grosseira, imaturos, totalizando mais de 200m de espessura (Soares *et al.*, 2007).

Do Paleogénico datam corpos arcósicos-areníticos de granulometria muito grosseira, imaturos, pertencentes à **Formação de Coja** (Soares *et al.*, *op. cit.*).

As formações de Campelo, de Telhada e de Santa Quitéria constituem o **Grupo de Sacões** (Neogénico) e correspondem a sedimentos heterométricos, conglomerados e pelitos, depositados no sopé das serras da Lousã e do Açor. Junto à escarpa de falha da Lousã, este grupo atinge cerca de 340m de espessura. «*Com o afastamento do sopé montanhoso, a unidade diminui rapidamente de espessura e granulometria, passando de conglomerados heterométricos a areno-pelitos*» (Soares *et al.*, *op. cit.*).

São, também, de referir diversas unidades quaternárias aflorantes, todas elas correspondentes a depósitos areno-conglomeráticos, submaturos a imaturos e com naturezas variadas: depósitos de sopé, aluviões e terraços do rio Ceira e ribeira de Celavisa (Parra, 1988).

2.1.4. Metamorfismo

De modo geral, as rochas do Grupo das Beiras denotam metamorfismo regional fraco que se revela pelo aspecto ligeiramente luzente das rochas mais finas, o qual é devido à presença de sericite e pelo aspecto quartzítico das rochas mais gresosas (Parra, 1991). De acordo com Sequeira *et al.* (1997), o metamorfismo regional não ultrapassa zona da clorite da fácies dos xistos verdes.

Conhece-se, também, a ocorrência de metamorfismo de contacto, evidenciado pela presença de xistos mosqueados e pelo aspecto silicificado e por vezes sacaróide dos materiais mais grauvacóides (Thadeu & Aires Barros, 1952). Os nódulos presentes nos xistos são essencialmente compostos por concentrações clorito-grafitosas, andaluzite muito sericitizada e biotite (Thadeu & Aires Barros, 1952; Parra, 1987). Segundo Silva (2005), o metamorfismo de contacto atingiu o grau médio, tendo-se sobreposto ao metamorfismo regional durante D3, e a cintura interna deste metamorfismo corresponde à zona da andaluzite-silimanite-cordierite. Ao nível regional, as auréolas de metamorfismo de contacto são controladas por falhas de direcção NNE-SSW a N-S, NE-SW a NNE-WSW e NW-SE (Sequeira *et al.*, 1997). Thadeu & Aires Barros (*op. cit.*) adiantam a hipótese de que o metamorfismo de contacto que se manifesta na região de Góis possa estar ligada a uma intrusão granítica subjacente.

2.1.5. Rochas intrusivas

Os granitóides hercínicos na ZCI podem ser classificados com base nas suas relações com as rochas metassedimentares encaixantes e nas deformações que eles próprios sofreram (Noronha, 1988). Assim, tendo normalmente a fase de deformação vestefaliana (D3) como referência, estes podem ser agrupados em quatro conjuntos: precoces, sintectónicos, tardi-tectónicos e pós-tectónicos. Na área de estudo não se conhecem afloramentos de granitóides hercínicos, estando apenas identificada uma ocorrência granitóide e rochas filonianas (Sequeira *et al.*, 1997).

Granito do Coentral

O granito de Coentral constitui o único afloramento de granito conhecido na área em estudo. Esta intrusão de forma aproximadamente elíptica, alinhada sensivelmente N-S, é constituída por um granito leucocrata, de grão médio, com moscovite, biotite, megacristais de feldspato potássico e inclusões de turmalina (Parra, 1991; Soares *et al.*, 2007). Contornando a cúpula granítica encontra-se uma auréola de xistos mosqueados com espessura aparente de 500m. Muito embora a datação deste granitóide tenha sido alvo de debate, os resultados obtidos por Gomes & Antunes (2011) apontam que a sua instalação terá ocorrido no intervalo 586-582 Ma (Ediacárico), relacionando-se com o magmatismo associado à cadeia Cadomiana e, portanto, de idade claramente ante-hercínica.

Rochas filonianas

De idades pré-variscas a variscas, encontram-se doleritos, pórfiros riolíticos e lamprófiros, constituídos por filões de reduzida espessura intruindo o Grupo das Beiras, com direcções muito variadas, localizados essencialmente no quadrante NW da área de estudo.

Evidências de cúpula granítica não aflorante

O facto de o campo filoniano da Panasqueira estar geneticamente relacionado com uma intrusão granítica não aflorante, que consiste numa apófise de direcção NW-SE, mergulhando suavemente para SE (Thadeu, 1951) tem vindo a ser utilizado como referência para a procura de estruturas semelhantes, cobertas pelas sequências xisto-grauváquicas do SGDB.

Entre 1985-86, na região de Góis, foram efectuadas diversas campanhas de prospecção geofísica com o intuito de detectar possível intrusão granítica não aflorante. Entre outros, foram utilizados perfis gravimétricos (Bengala, 1985), sísmica de refacção e de reflexão (Torres, 1985; Fonseca & Rodrigues, 1986).

Mesmo pesando as dificuldades inerentes à utilização de cada um dos métodos empregues e as condicionantes impostas pela topografia e complexidade geológica, os resultados obtidos foram, de modo geral, positivos.

Bengala (1985) identifica possível intrusão granítica nas imediações da mina de Vale Pião, eventualmente condicionada pela presença de dois acidentes tectónicos.

De acordo com os resultados então conseguidos, Torres (1985) identifica uma intrusão granítica em Vale Pião, assim como os respectivos efeitos de zonamento sobre o encaixante. Esta anomalia, que se supõe ser uma massa intrusiva, foi inicialmente detectada a 180m de profundidade, mas calculou-se aprofundar significativamente para norte, uma vez que, aí, apenas se identificou aos 280m. Distinguiu-se, ainda, uma zona de oxidação-redução nas formações xisto-grauváquicas.

Fonseca & Rodrigues (1986) apresentam um modelo no qual, na zona da mina de Vale Pião, são reconhecidos três horizontes de alteração nos materiais xisto-grauvacóides «afectados por uma intrusão granítica em forma de cúpula, ligada ao substrato granítico». Ao ápice da possível intrusão granítica foi atribuída a profundidade de 120m.

Apesar dos resultados animadores obtidos na década de oitenta e de o contexto geológico parecer corroborá-los, todos eles carecem, ainda, de confirmação.

2.1.6. Tectónica e aspectos estruturais

A região em estudo foi afectada por três orogenias distintas e pelas respectivas fases de deformação: fase sarda da orogenia Caledónica, orogenia Hercínica e orogenia Alpina (Thadeu, 1951; Parra & Filipe, 1995).

Deformação da fase sarda

Ao evento geológico que provocou a descontinuidade estratigráfica claramente evidenciada entre os materiais ante-ordovícicos (SGDB) e os ordovícicos (QA) da ZCI é atribuída a designação de **fase sarda** (Dias *et al.*, 2013; Amaral *et al.*, 2014). Os efeitos desta fase de deformação, considerada do Câmbrio superior, aumentam, na ZCI, de NE para SW, fazendo-se sentir com maior intensidade no seu bordo meridional, junto ao contacto desta com a ZOM (Silva, 2005; Ribeiro, 2013; Romão *et al.*, 2013).

Apesar de as estruturas associadas a este episódio de deformação serem difíceis de detectar, uma vez que são obliteradas pelas orogenias subsequentes, as dobras de orientação ENE-WSW e NE-SW a E-W, sem clivagem de plano axial, são atribuídas à fase sarda (Thadeu, 1951; Sequeira & Sousa, 1991; Ribeiro, 2013; Romão *et al.*, 2013).

Para além de a este episódio tectónico se encontrarem associados, a nível regional, discordâncias estratigráficas, carreamentos sinsedimentares e cavalgamentos, ocorrem também eventos de intrusão magmática bimodal, predominantemente félsicos (Romão *et al.*, 2013).

Deformação do ciclo varisco

Durante a deformação varisca, ocorrida entre o Devónico médio a superior e o Pérmico, a sequência xisto-grauváquica do SGDB foi submetida à actuação de uma sucessão mais ou menos contínua de três fases tectónicas (D1, D2 e D3), sucedidas por uma fase tardi-varisca, de características mais frágeis - D4 (Pereira *et al.*, 1993; Silva, 2005; Dias *et al.*, 2013).

As litologias dominantes do SGDB estão organizadas em sinclinórios e anticlinórios que resultam essencialmente da actuação da **primeira fase de deformação hercínica - D1** (Soares *et al.*, 2007). Apesar da orientação das estruturas geradas durante esta fase ser variável conforme o sector do orógeno considerado, nos domínios mais ocidentais da ZCI, nos quais se situa a área em estudo, verifica-se o predomínio da direcção NW-SE, sendo que as estruturas principais apresentam direcções médias N60-80°W (Parra, 1991; Sequeira & Sousa, 1991; Lourenço, 2002; Soares *et al.*, 2007; Dias *et al.*, 2013; Meireles *et al.*, 2013).

Para além das dobras, estruturas mais penetrativas da primeira fase de deformação hercínica, ocorreram simultaneamente cisalhamentos dúcteis, cisalhamentos semi-dúcteis e metamorfismo regional na fácies dos xistos verdes (Silva, 2005).

A **segunda fase de deformação varisca (D2)** é mais heterogénea do ponto de vista regional, sendo geralmente mais evidente na vizinhança do contacto ZCI/ZOM, diminuindo de intensidade para NE. A deformação D2 produziu dobramentos menos

2. Enquadramento geológico e geomorfológico

penetrativos do que a anterior, induzindo a formação de dobras e cisalhamentos (direitos) com direcção geral NNW-SSE predominante, ou seja, subparalela à ZCPTC (Soares *et al.*, 2007; Romão *et al.*, 2013).

As fases variscas tardias, D3 e D4, caracterizam-se por uma forte diferenciação no regime metamórfico e de deformação em relação às fases precedentes (Pereira *et al.*, 1993).

A **terceira fase de deformação varisca (D3)** foi responsável pelas grandes intrusões granitóides que geraram intenso metamorfismo de contacto na ZCI (Silva, 2005.). A instalação dos granitos, assim como a deformação desta fase, são controladas por cisalhamentos dúcteis intracontinentais que, por vezes, reactivam cisalhamentos D1, dando-lhes movimentação direita, e desenvolvendo pares conjugados esquerdos (Pereira *et al.*, 1993). «As dobras D3, de plano axial subvertical e eixos sub-horizontais, têm geometria sigmoidal e dispõem-se em échelon, relativamente, aos planos de cisalhamento» (*ibid.*).

As **deformações tardi-variscas (D4)** são essencialmente frágeis e retomam muitas das zonas de fraqueza originadas nas fases de deformação anteriores, especialmente D3. Esta reactivação de estruturas dúcteis em regime frágil é evidenciada pela brechificação do enchimento e cimentação por novas fases hidrotermais (Pereira *et al.*, 1993). As deformações tardi-variscas são responsáveis por numerosos cisalhamentos frágeis, muitos dos quais foram retomados pela orogenia alpina (Silva, 2005). Embora existam divergências no que toca à interpretação cinemática destes acidentes, o que se deve ao facto de estas terem sido reactivadas em episódios tectónicos distintos, a generalidade dos estudos indica as seguintes direcções para as principais famílias de acidentes: NNE-SSW, NNW-SSE, ENE-WSW e ESE-WNW (Dias *et al.*, 2013; Romão *et al.*, 2013). Esta última fase assumirá especial importância na medida em podem a ela associar-se as falhas mineralizadas tardias que estarão relacionadas com algumas das ocorrências minerais na área em estudo, como Senhora da Guia e Vale Pião (*vide* 2.2. Mineralizações de Sn-W e Au-Ag na ZCI).

Na Fig. 2.4 podem ver-se as principais estruturas da ZCI atribuídas às várias fases da orogenia hercínica.

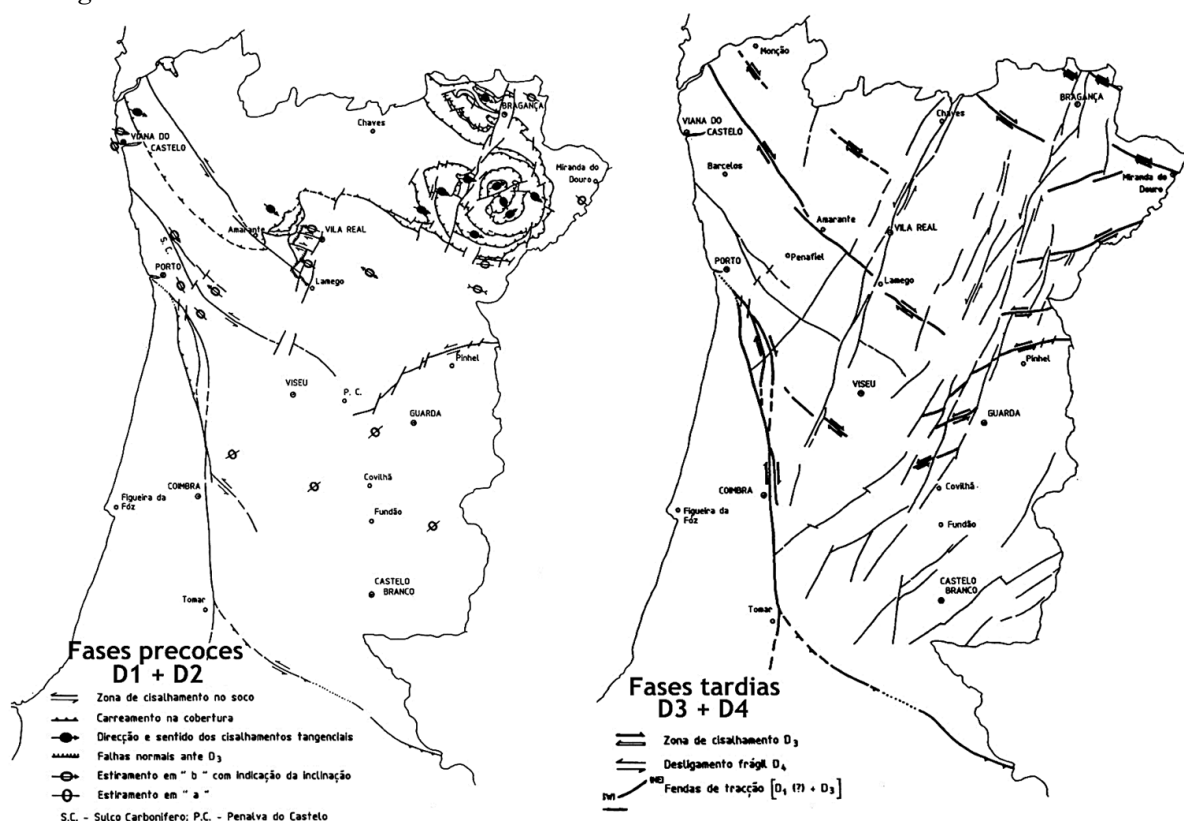


Fig. 2.4. Cisalhamentos e fracturas das fases hercínicas precoces (D1+D2) e tardias (D3+D4) (fonte: Pereira *et al.*, 1993).

Ciclo alpino e neotectónica

À acção da orogenia alpina, «o Maciço Hespérico reagiu como um maciço consolidado, rígido; o resultado traduziu-se por uma série de movimentos epirogénicos, facilitados por uma rede de fracturas cuja cronologia é difícil de precisar» Thadeu (1965). Para a ZCI, este autor destaca os sistemas de fracturas de direcções NNE-SSW, ENE-WSW a NE-SW e, secundariamente, a família de orientação NW-SE como os mais importantes. No que se refere às famílias de direcções ENE-WSW e N-S, Thadeu (1951) atribui-os aos primórdios da actuação alpina. Marques *et al.* (2002) adiantam que o sistema N25°W foi reactivado com movimentação direita, o sistema de falhas N25°E com movimentação esquerda e o sistema N80°E, quando não vertical, como cavalgamentos.

Um dos principais efeitos da orogenia alpina sobre o soco hercínico foi o soerguimento da Cordilheira Central Portuguesa, que terá tido origem com as compressões béticas, que se iniciaram há cerca de 10 M.a. (Miocénico superior, Tortoniano) e continuam a fazer-se sentir actualmente (Sequeira *et al.*, 1997). A Cordilheira Central, de direcção geral ENE-WSW, é limitada a SE por um conjunto de falhas subparelelas e a NW por um único e importante cavalgamento – falha Seia-Lousã (Cabral, 1995).

A **falha Seia-Lousã**, também referida na bibliografia como simplesmente falha de Lousã ou de Góis, é uma estrutura principal do Maciço Hespérico português, dispondo-se com orientação média N50°E. Apresenta um comprimento total de quase 100km, tendo como limite NE o acidente tectónico Manteigas-Vilariça-Bragança e a SW um troço importante da estrutura Porto-Coimbra-Tomar (Cabral, 1995). De acordo com Sequeira *et al.* (op. cit.), a falha Seia-Lousã seria originalmente uma falha subvertical tardi-hercínica que sofreu movimentação vertical até meados do Tortoniano e que foi posteriormente reactivada como cavalgamento. Contrariamente a outros autores, Cabral (op. cit.) considera que a falha Seia-Lousã é interrompida a oeste, não se ligando ao acidente Nazaré-Leiria-Pombal, muito embora o alinhamento destas estruturas sugira ao autor uma relação em profundidade, ao nível do soco varisco.

A actividade neotectónica em Portugal continental evidencia a predominância de estruturas com movimento inverso de direcções E-W a NE-SW e falhas de desligamento esquerdas de direcção N-S a NNE-SSW (Cabral, 2012).

Na Fig. 2.5 são apresentadas as estruturas mais importantes que sofreram movimentação nas fases orogénicas mais recentes, na região da Beira Baixa.

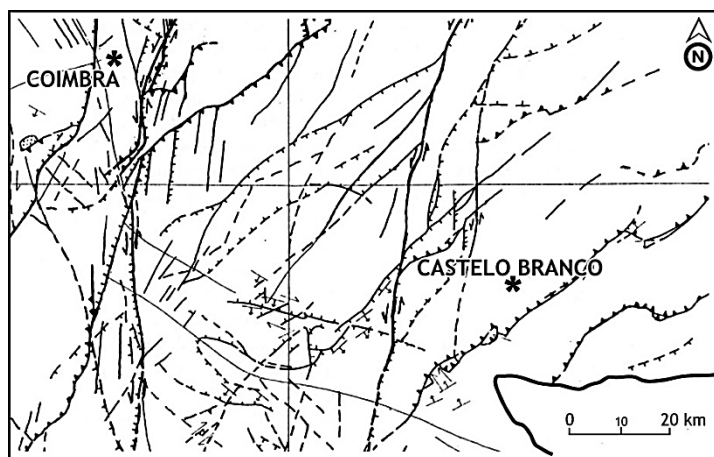


Fig. 2.5. Principais falhas com movimentação desde o Tortoniano até à actualidade (adaptado de Sequeira *et al.*, 1997).

Aspectos estruturais da área de estudo

As principais estruturas cartografadas na região em estudo podem ser observadas na Fig. 2.2.

Apesar de os efeitos da tectónica alpina na área de estudo serem evidentes e de sobremaneira importantes, é a deformação varisca que controla os aspectos estruturais mais penetrativos do SGDB na região. Assim, relativamente às estruturas da área de Góis-

Arganil associadas a D1, Meireles *et al.* (2013) indicam que «a estratificação (S0) tem quase sempre a orientação WNW-ESE, com inclinações quer para norte quer para sul [...]. A vergência geral é para sul. São fundamentalmente dobras de planos axiais subverticais com orientação N100-110°E, de eixos pouco inclinados (< 50°), a penderem quer para leste quer para oeste. As lineações de intersecção S0/S1 são paralelas aos eixos e normalmente pouco inclinadas».

A estrutura de maior relevância em toda a área é a falha Seia-Lousã, que faz o contacto entre as formações meso-cenozóicas, a NW, e os materiais xisto-grauváquicos do SGDB, a SE. Pereira *et al.* (2004) afirmam que a expressão mais evidente da tectónica recente na região é o facto de ser paralela à direcção geral da falha Seia-Lousã. De facto, Parra (1991) indica duas importantes falhas, paralelas ao sistema NE-SW, que segmentaram a região de Góis em diferentes blocos e nos quais ocorrem mineralizações conhecidas de Sn e W: **falha de Piães-Senhora da Guia** (N55°E) e **falha da Cabreira** (N60°E).

Apesar de o Fundão e a Pampilhosa da Serra não serem abrangidos pela área de estudo, a proximidade geográfica e similaridade geológica destas regiões justificam que se estabeleçam eventuais paralelismos. Thadeu (1949) afirma que entre o Fundão e Pampilhosa da Serra o maciço se encontra compartimentado por um sistema de falhas NNE e outro ENE, identificando, ainda, numerosas falhas N-S. *Ibid.* adianta, também, que a «região é atravessada por uma grande falha de orientação ENE, com caixa larga preenchida por fragmentos de xisto, arrancados aos encontros, embebidos numa pasta argilosa de cor cinzenta; notam-se dentro da caixa numerosos filões, de fraca possança, de quartzo leitoso, levemente azulado, muito fragmentados». *Ibid.* refere-se, assim, à **falha de Cebola**, que afirma fazer-se acompanhar por outras, de menor expressão, que lhe são sensivelmente paralelas. A falha de Cebola segmenta a região em dois blocos, dos quais o NW é o mais elevado, com respectivo abatimento do SE (*ibid.*).

Pereira *et al.* (2004) referem que o sistema de falhas representado pela falha de Cebola é persistente e penetrativo no Maciço Hespérico, acrescentando que a sua relação com a fracturação N20°E, de movimentação esquerda, poderá merecer estudos mais detalhados.

De acordo com Ribeiro *et al.* (1979)², o bloco tectónico definido pelas falhas Seia-Lousã e de Cebola apresenta compartimentação interna, geralmente expressa por falhas com direcção NNE-SSW (N3-20°E). Como pertencente a este sistema, Sequeira *et al.* (*op. cit.*) mencionam a **falha de Safra**, que constitui o contacto oriental do granito de Coentral com as formações do SGDB. Este acidente terá funcionado inicialmente como cisalhamento direito, com abatimento do bloco oriental, acabando por ter forte movimento vertical, fazendo praticamente desaparecer, para leste do granito de Coentral, uma auréola de metamorfismo com mais de 1km.

No que se refere a falhas de direcção NW-SE, Sequeira *et al.* (*op. cit.*) afirmam que estas controlaram o flanco SW do sinclinal Buçaco-Penedos de Góis, assim como as auréolas de metamorfismo de contacto e as próprias unidades litoestratigráficas do SGDB, funcionando como falhas subverticais de desligamento direito.

Andrade (1985) e Parra (1988) referem que na zona dos depósitos detríticos mais recentes as principais fracturas se orientam N50-70°E. Já para as formações do SGDB, *ibid.* referem as principais direcções como sendo:

(i) Folha de Góis – N10-30°E, N50-70°E e N50-70°W; enquanto as duas primeiras correspondem às direcções de brechas mineralizadas importantes na área de estudo, a última é próxima das estratificação e/ou xistosidade das formações do SGDB;

² in Sequeira *et al.* (1997)

2. Enquadramento geológico e geomorfológico

(ii) Folha de Pampilhosa da Serra – N70-90°W, N30-50°E, N50-70°W e N10°W a N10°E; neste grupo evidenciam-se as direcções correspondentes à estratificação e/ou xistosidade e os autores referem a família de direcção média N-S como bem expressa na zona.

Os elementos resultantes da fotointerpretação de Andrade (1985) e os respectivos diagramas de roseta podem ser consultados no Anexo I.A.

Feito o enquadramento geral da geologia da região e dos aspectos estruturais mais relevantes, no próximo subcapítulo apresentar-se-á um resumo das principais mineralizações Sn-W e Au-Ag associadas à ZCI e irão fazer-se algumas referências alusivas às ocorrências minerais mais relevantes na área de estudo.

2.2. Mineralizações de Sn-W e Au na ZCI

A ZCI é reconhecidamente uma fonte histórica de exploração de recursos minerais metálicos. Esta unidade geotectónica hospeda numerosos sistemas mineralizantes epigenéticos, salientando-se pela sua abundância relativa e importância económica aqueles cuja génese se encontra relacionada com a estruturação meso- a tardi-varisca e nos quais se incluem metais como o ouro, estanho e volfrâmio (Mateus & Noronha, 2010). Naturalmente, no decorrer do tempo geológico estas formações foram trabalhadas pelos agentes erosivos, originando concentrações sedimentares dos referidos metais nas mais diversas bacias hidrográficas. Apesar de as mineralizações secundárias poderem apresentar interesse económico significativo e de serem conhecidos jazigos aluvionares de Sn-W e Au na área em estudo, este trabalho fará apenas referência às mineralizações primárias.

A distribuição das ocorrências de Sn, W e Au na ZCI, apesar de relativamente heterogénea, evidencia-se segundo alinhamentos paralelos aos da estruturação varisca e aos maciços de rochas granitóides e segundo sistemas de fracturação meso- a tardi-variscos (Noronha *et al.*, 2013), facto que foi observado por Neiva (1944), no caso específico do Sn-W, ou Carvalho (1974), em relação às mineralizações epigénicas em geral. Não sendo casual, esta correspondência evidencia o «condicionamento exercido pela estruturação orogénica na sustentação de diferentes processos metalogénicos ao longo de vários M.a., produzindo mineralizações distintas (na especiação metalífera, no modo de ocorrência, no tempo e mecanismos de formação, etc.) que coexistem espacialmente» (Mateus & Noronha, *op. cit.*).

Na Fig. 2.6 podem ver-se as principais ocorrências estano-volframíticas e auríferas na ZCI.

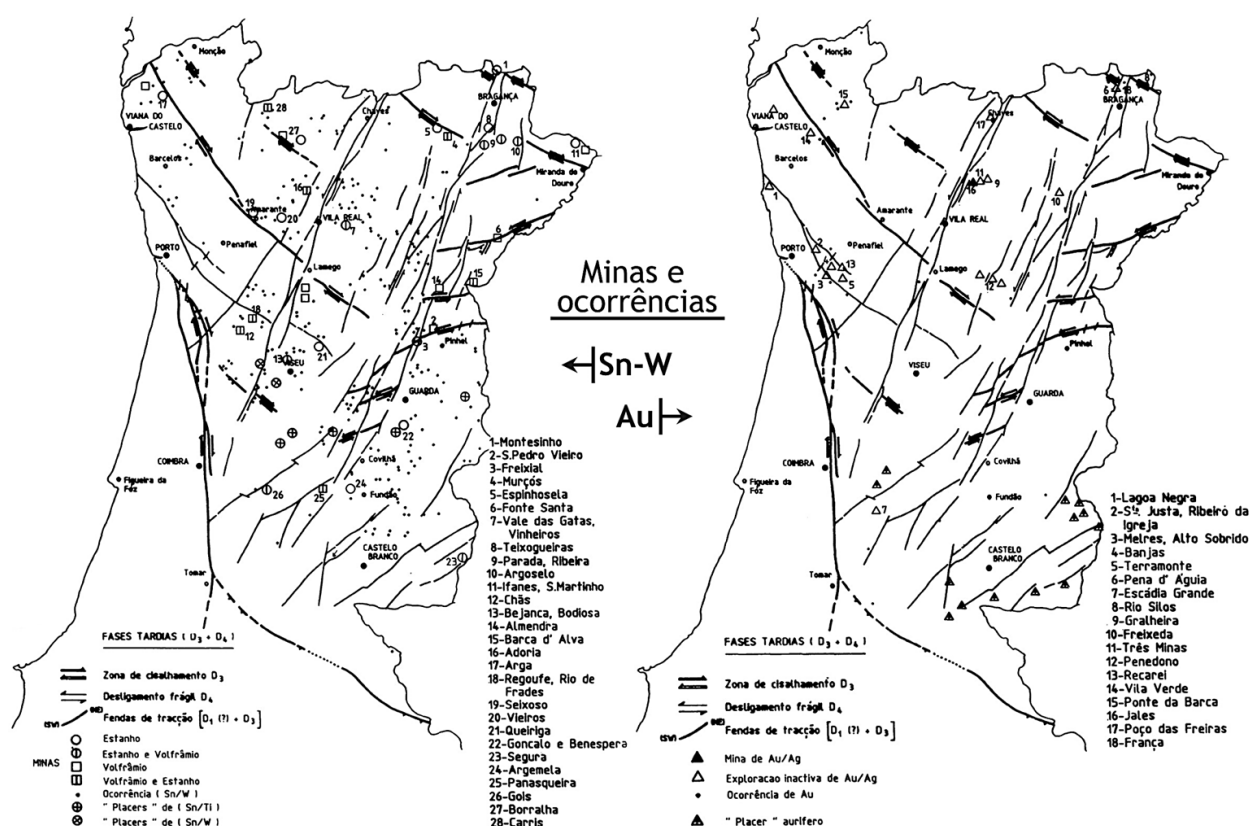


Fig. 2.6. Minas e ocorrências estano-volframíticas e auríferas na ZCI (fonte: Pereira *et al.*, 1993).

Os jazigos de Sn e W distribuem-se pela ZCI e também pela Zona Galaico-Transmontana, definindo a chamada Província Metalogenética Estanífera e Tungstífera Ibérica (Neiva, *op. cit.*; Thadeu, 1976; Goinhas & Viegas, 1983), também definida por Thadeu (1965) como «*bloco setentrional do Maciço Hespérico*». Esta província metalogenética está integrada no conjunto dos depósitos variscos de Sn-W do oeste europeu, que ocupam uma vasta superfície de 1.300 km na direcção N-S e 1.500 km E-W (Derré, 1982). *Ibid.* identifica uma tendência para a alternância aproximadamente constante entre domínios de Sn e de W por todo o varisco europeu, afirmando que na Península Ibérica esta ocorre sensivelmente num bandado contíguo E-W (*vide* Anexo I.B.).

As mineralizações portuguesas de Sn-W relacionadas com as fases tardias da orogenia hercínica estão essencialmente concentradas em dois sectores: Trás-os-Montes e Beira Baixa (Lourenço, 2002). «*No sector da Beira Baixa, as mineralizações de volframite e cassiterite ocorrem espacialmente associadas a granitos biotíticos pós-tectónicos, não parecendo ter nenhuma ligação directa com a tectónica; neste sector regista-se, ainda, a existência de uma mineralização de cassiterite mais tardia, relacionada com leucogranitos*» (*ibid.*).

As mineralizações Sn-W ocorrem dominantemente onde se verifica a presença de granitóides intruindo séries marinhas de idade pré-câmbrica a silúrica-devónica, estando a sua génese relacionada com complexos processos multifásicos (Ribeiro & Pereira, 1982; Noronha, 1988; Noronha *et al.*, 2013). Pereira *et al.* (1993) indicam que, apesar de alguns autores identificarem pré-concentrações sedimentares de estanho e concentrações químicas ou exalativo-vulcânicas de volfrâmio, e de as ocorrências evidenciarem uma relação genética com os granitóides hercínicos, ambos os processos «*são perfeitamente compatíveis, dado os granitóides hercínicos resultarem, em parte, da fusão de uma crosta continental jovem de idade 600M.a.*». Ribeiro & Pereira (1982) admitem, contudo, que existem jazigos Sn-W relacionadas com granitóides mais antigos. De qualquer forma, o papel dos granitóides hercínicos e a sua ligação às mineralizações Sn-W são reconhecidamente importantes (Lourenço, *op. cit.*).

Os jazigos espacialmente ligados aos granitos orogénicos evidenciam controlo estrutural importante que se impõe através de várias vias (Ribeiro & Pereira, 1982). Uma delas é o condicionamento tectónico, que comanda os mecanismos de intrusão dos granitóides. «*Este condicionamento refere-se quer à posição dos jazigos, uma vez que os fluidos mineralizantes tendem a concentrar-se nas zonas apicais dos batólitos e bossas (Wisser, 1960) e a circular preferencialmente ao longo de fracturas e zonas de cisalhamento, quer à orientação do campo filoniano satélite dos granitóides, controlada por campos de tensões regionais e locais*» (*ibid.*). Por outro lado, a tectónica também intervém de modo mais indirecto na medida em que «*o tipo de magmatismo é controlado pela distância à zona de subducção que vai desencadear o processo orogénico e a posição dos granitóides depende muitas vezes da presença de cisalhamentos intracontinentais que vão comandar a geração e ascensão dos magmas que lhes dão origem*» (*ibid.*).

De forma muito simplificada, tendo em conta as relações entre o contexto geológico e a mineralização, a morfologia do jazigo e respectivas associações minerais, os jazigos hipogénicos estano-volframíticos podem classificar-se em três grandes grupos: (1) relacionados com granitos; (2) relacionados com vulcanismo; (3) jazigos estratiformes, em formações sedimentares ou metassedimentares, sem relação aparente com magmatismo (Moussu, 1972 - *in* Noronha, 1999; *in* Goinhas & Viegas, 1983). Como já se indicou, ao presente trabalho interessam apenas os jazigos do primeiro grupo, ou seja, ligados a granitos. Neste grupo podem considerar-se os seguintes tipos de jazigos: aplito-pegmatíticos, filões, cúpulas mineralizadas (*greisen*), *stockworks*, mineralizações disseminadas, jazigos de contacto (*skarn*) e brechas (*ibid.*).

Tal como se referiu em 2.1., os granitóides variscos podem ser classificados quanto à sua idade tendo D3 como referência. Os jazigos estano-volframíticos da ZCI podem, então, ser agrupados consoante a sua associação genética a diferentes granitóides.

Relacionado com os granitóides sin-orogénicos, de mineralização anterior a D2, conhece-se apenas o jazigo de Montesinho (Ribeiro & Pereira, 1982). Durante D3 deu-se a instalação de dois grupos de granitóides: granodioritos precoces e granitos de duas micas, cuja idade será de 300-320M.a. Enquanto se conhece apenas o jazigo de Murçós relacionado com o primeiro grupo, ligados aos leucogranitos de duas micas conhecem-se diversos jazigos (*ibid.*). De acordo com os mesmos autores, os jazigos Sn-W relacionados com estes últimos granitos podem separar-se em quatro tipos essenciais (com transições entre os mesmos): (i) filões que sofrem a mesma deformação que o granito; (ii) sistemas de cisalhamento conjugados em échelon e que sofrem apenas os últimos estádios de D3; (iii) mineralizações ao longo de zonas de cisalhamento produzidas em D3; (iv) filões instalados em fracturas correspondentes aos últimos estádios de deformação frágil da D3.

Os granodioritos tardios, com idade de cerca 280M.a. (Pérmico inferior) foram os últimos granitóides a instalar-se na cadeia hercínica da Península Ibérica, encontrando-se apenas afectados pelas fases de desligamento frágeis tardi-hercínicas (Ribeiro & Pereira, *op. cit.*). Os mesmos autores propõem uma evolução dos campos de tensões associados à instalação de cúpulas pós-tectónicas dividida essencialmente em três estágios: (i) fase de ascensão do maciço, (ii) fase de equilíbrio entre a pressão do magma ascendente e resistência oferecida pelo encaixante à intrusão e (iii) fase de solidificação por arrefecimento e contracção da zona apical. As minas de Argemela (Fundão), por exemplo, estão relacionadas com os estádios precoces; já relacionados com o último estágio, estão a Panasqueira e «outros jazigos situados também na faixa xistenta das Beiras», tais como Góis e Segura (*ibid.*).

A ascensão e instalação dos granitóides pós-tectónicos é aparentemente controlada por uma anisotropia crustal de direcção aproximada E-W, controlo este que se verifica no alinhamento das mineralizações estano-volframíticas ao longo da faixa Góis-Panasqueira-Argemela-Segura (Ribeiro & Pereira, *op. cit.*; Pereira, 1988).

As **mineralizações auríferas** primárias portuguesas são predominantemente do tipo filoniano, com ganga quartzosa ou mais complexa (Noronha & Ramos, 1993) e são alvo de evidente controlo estrutural e litológico.

Os principais jazigos de Au-Ag na ZCI encontram-se preferencialmente associados aos grandes cisalhamentos dúcteis sin-D3, encontrando-se também alinhados nas direcções NE-SW e N20°E (paralelamente às falhas D4 Régua-Verin ou Vilariça), assim como em zonas de intersecção entre ambas as direcções referidas (Noronha & Ramos, *op. cit.*). O preenchimento das estruturas filonianas é essencialmente tardio relativamente a D3 e, em muitos casos, é evidente a variação do regime de deformação de dúctil-frágil para frágil (*ibid.*). As mineralizações auríferas serão, então, de origem claramente anterior aos granitos pós-tectónicos (Noronha *et al.*, 2013).

Os jazigos Au-Ag da ZCI encontram-se, regra geral, associados ao QA, aos xistos negros do Ordovícico-Silúrico e, mais raramente, incluídos em formações graníticas ou xisto-grauvâquicas, ante-ordovícicas (Carvalho, 1979; Pereira *et al.*, 1993). Assim, o controlo litológico exerce-se: (i) nos quartzitos e granitos, devido a maior competência dos materiais, favorecendo, por um lado, fracturas mais abertas e, por outro, maior longevidade na reactivação das heterogeneidades mecânicas; (ii) nos xistos negros, exerce-se, fundamentalmente, por acção química (Pereira *et al.*, *op. cit.*).

Cerveira (1952) defende a existência de uma relação directa entre os jazigos hipogénicos portugueses de W e de Au, definindo uma província metalogénica hercínica

2. Enquadramento geológico e geomorfológico

auro-argentífera-tungsténica ocupando grande parte do Maciço Hespérico, quer em Portugal, quer em Espanha. Noronha & Ramos (1993) afirmam que «*embora existam mineralizações de tungsténio relacionadas com granitos sin-tectónicos a tardi-tectónicos, os principais jazigos deste metal estão espacial e geneticamente relacionados com granitos pós-tectónicos*», levando os autores a considerar que «*os principais processos metalogénicos que conduziram às concentrações de ouro e de tungsténio são independentes*».

Segundo SIORMINP (2015), na região entre Góis e Castanheira de Pêra intersectam-se três faixas metalíferas: a **faixa Sn-W Góis-Segura**, a **faixa Au-Ag de Escádia Grande** e a **faixa Au-Ag Vieiro-Fonte Limpa**. Na Fig. 2.7 apresenta-se a representação esquemática das três faixas metalíferas conhecidas na região em estudo.

Seguidamente far-se-á referência às principais ocorrências minerais conhecidas nestas faixas e às suas principais características. As mineralizações às quais se fará referência ocorrem disseminadas ou encaixadas nas formações xistentas e grauvacóides pré-ordovícicas do SGDB.

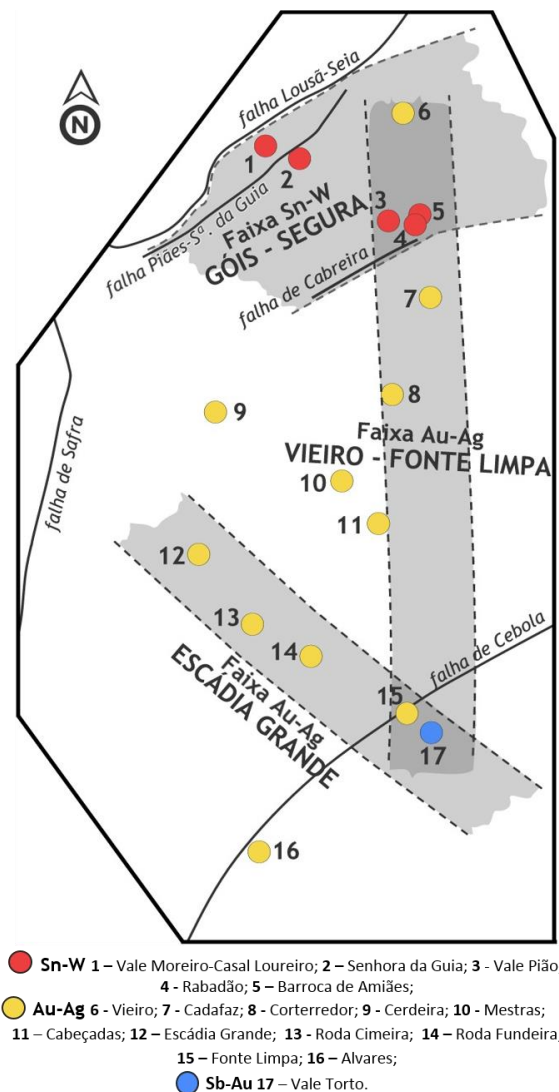


Fig. 2.7. Faixas metalíferas na região Góis-Castanheira de Pêra.

2.2.1. Faixa Sn-W de Góis-Panasqueira-Argemela-Segura

A **faixa estano-volframítica Góis-Segura** é composta por um alinhamento aproximadamente E-W de diversas ocorrências Sn-W, sendo que algumas delas se encontram relacionadas com cúpulas de granito não aflorantes. Carvalho (1974) denota o alinhamento destas ocorrências segundo o «*paralelo 40°*», sugerindo a existência de vincado controlo estrutural devido à intersecção deste com outros alinhamentos, especialmente N-S e NNE-SSW a ENE-WSW. Neste trabalho já foi efectuada uma série de referências tanto ao contexto geológico das mineralizações desta faixa como à importância histórica e actual das explorações mineiras nela inseridas. Interessa, agora, conhecer em maior pormenor as ocorrências primárias no sector de Góis.

As mineralizações Sn-W no sector de Góis, às quais surge frequentemente associado ouro, serão tardi- a pós-D3, não possuindo relação imediata com os cisalhamentos dúcteis (Pereira *et al.*, 1993). Em termos morfológicos dominam as mineralizações filonianas, mas também são conhecidas brechas e *stockwork* de formato lenticular instalados em zonas de cisalhamento (Parra, 1990). As mineralizações encontram-se essencialmente orientadas nas seguintes direcções: NNE-SSW, NE-SW e também NW-SE (*ibid.*).

2. Enquadramento geológico e geomorfológico

De acordo com Oliveira (1969), Carvalho (1986a), Parra (1987, 1990), Nogueira Ramos (2009) e SIORMINP (2015), o sector de Góis é normalmente subdividido nas seguintes unidades (*vide* Fig. 2.2 e Fig. 2.7):

(1) no bloco situado a NW da falha Lousã-Seia apenas se conhecem concentrações auríferas e estaníferas de origem aluvionar;

(2) o bloco compreendido entre as falhas Lousã-Seia e de Piães-Senhora da Guia, está associado a mineralizações de Sn e Au; este bloco estará elevado em relação aos contíguos;

(3) no bloco compreendido entre as falhas de Piães-Senhora da Guia e de Cabreira, dominam as mineralizações de Sn e de Sn-W, também se conhecendo as de Au-As; este bloco terá abatido relativamente a (2).

As explorações mais relevantes no sector de Góis foram a **mina de Senhora da Guia** e a **mina de Vale Pião**, havendo inúmeras explorações e ocorrências de pequena dimensão entre estas duas antigas minas. Oliveira (1969) e Carvalho (1986a) consideram a mina de Senhora da Guia como a «zona da volframite», em oposição à de Vale Pião, que classificam como «zona da cassiterite». Para SE do bloco (2) não são conhecidas ocorrências de estanho ou de volfrâmio (Parra, 1990) na área prospecção e pesquisa de Escádia Grande. No Anexo I.C. são apresentadas as áreas de prospecção do Couto Mineiro de Góis, assim como as minas e registos mineiros.

Vale Moreiro - Casal Loureiro – Vale Maceira – Piães

Situada no bloco limitado entre a falha de Lousã-Seia e a de Piães-Senhora da Guia, a principal ocorrência é uma brecha de mineralização cassiterítica, instalada em zona de cisalhamento com 2km de extensão e de direcção geral N70-75°E (Borrallho & Parra, 1988). Segundo estes mesmo autores, a referida brecha pode ser subdividida em dois sectores: (1) o ocidental, com 0,8km de extensão, entre Vale Moreiro e Casal Loureiro, e no qual a brecha surge bem mineralizada em Sn; (2) e o oriental, na extensão de 1,2km entre Casal Loureiro e Piães, no qual a brecha é fracamente ou não estanífera. No segundo sector, o enriquecimento em arsenopirite pode indicar teores Au-Ag de possível interesse (*ibid.*). Também são conhecidos filões de quartzo, sulfuretos e cassiterite, mas de dimensões inferiores às das brechas (SIORMINP, 2015).

Senhora da Guia

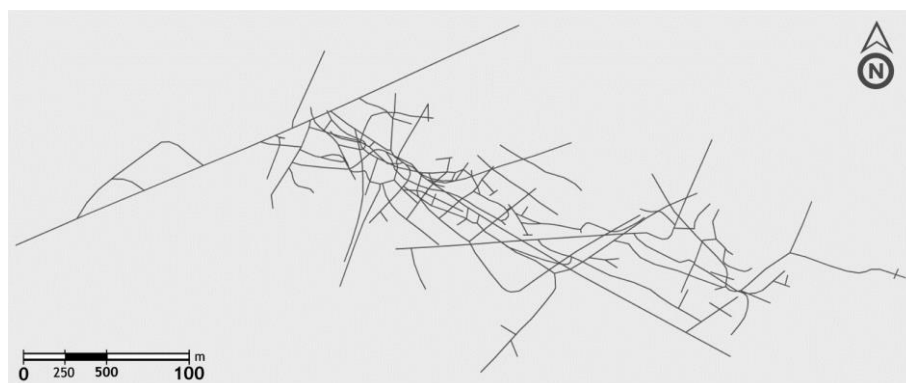


Fig. 2.8. Planta das galerias da mina de Senhora da Guia
(fonte: EDM, adaptado dos originais do Serviço de Fomento Mineiro).

O jazigo de volframite de Senhora da Guia foi descoberto em 1937 e explorado de forma intermitente até 1972 (Parra, 1987). A exploração incidiu sobre dois sistemas de

2. Enquadramento geológico e geomorfológico

filões quartzosos: (i) filões subverticais, de direcção N50-75°W e inclinações variáveis entre verticais e 40-75°SW; (ii) filões sub-horizontais, de direcção semelhante aos anteriores e inclinações entre 10-30° para SW ou NE (Oliveira, *op. cit.*; Parra, 1987). O segundo sistema será mais recente do que o primeiro uma vez que os filões subverticais são normalmente rejeitados pelos sub-horizontais (Oliveira, *op. cit.*). Para além da volframite, os filões quartzosos, de possança irregular, variando desde poucos centímetros até 60cm, continham arsenopirite, pirite, pirrotite, calcopirite, mica, siderite, turmalina, esfarelite e apatite (Oliveira, *op. cit.*; Parra, 1987; SIORMINP, 2015). Na Fig. 2.8 apresenta-se a planta das galerias da mina de Senhora da Guia, seguindo praticamente a direcção dos filões mineralizados.

Os filões principais são deslocados por falhas alpinas orientadas, grosso modo, NE-SW, geralmente de movimentação normal e deslocamento esquerdo, muito embora se reconheça a ocorrência de uma grande falha inversa e de movimento direito (Parra, 1987).

Vale Pião

A prospecção na região do jazigo de Vale Pião teve início em 1949 e os trabalhos mineiros funcionaram, embora com algumas interrupções, até 1969 (Parra, 1988). O jazigo é algo complexo, sendo possível distinguir três fases de mineralização distintas entre si, relacionadas com a orogenia hercínica (*ibid.*). É possível identificar três tipos de estruturas mineralizadas: (1) brechas instaladas em cisalhamentos e (2) *stockwork* a elas associado; (3) filões quartzosos.

Com base nos trabalhos de Parra (1988, 1993) e de Parra & Filipe (1995), abaixo se resume a evolução do jazigo e respectivas estruturas:

(i) a primeira fase de mineralização está representada por brechas, *stockwork* e filões de quartzo subverticais;

(ii) as brechas principais são rejeitadas por falhas inversas de deslizamento diagonal, N60-70°W, 60-80°NE; a segunda fase de mineralização, contemporânea das acções tectónicas descritas, consistiu na sobreposição de mineralização nas brechas já instaladas e na instalação de novas brechas secundárias (N0-35°W, 70-85°E) e filões quartzosos subverticais;

(iii) a terceira fase de mineralização é caracterizada por filões de quartzo sub-horizontais, que constituíram o principal alvo de exploração; estes filões estender-se-ão para lá dos limites da mina de Vale Pião, numa faixa com cerca de 2,5km de extensão e 1km de largura.

As brechas principais, em parte aflorantes, instalaram-se em corredores de cisalhamento orientados N20-25°E, 60-80°E ou SE, e N50°E, 60-80°SE (Parra, 1988). As brechas secundárias, relacionadas com os cisalhamentos principais, apresentam rumos N0-35°W, N65-80°W, N55-60°E e N80-90°E, variando as respectivas inclinações entre 50-80°E (*ibid.*).

A mineralização das brechas é essencialmente cassiterítica e volframítica, existindo calcopirite, esfalerite, ouro, pirite, prata como mineralizações secundárias (Parra, 1988; SIORMINP, 2015). Segundo Parra (1988), ao contrário do que as antigas explorações evidenciam, os minérios de cassiterite e volframite encontram-se principalmente associados às brechas e *stockwork* que ocorrem nos corredores de cisalhamento, e não nos filões quartzosos que foram intensamente explorados.



Fig. 2.9. Planta das galerias da mina de Vale Pião

(fonte: EDM, adaptado dos originais do Serviço de Fomento Mineiro).

Parra (1988) refere que se observam falhas de idade alpina, pertencentes a um sistema N50-60°E, 50-80°SE, que rejeitam os eventos tectónicos hercínicos. *Ibid.* menciona falhas mais recentes, de direcções N0-10°E, N30-50°E e N70°W, que terão provocado movimentos de pequena amplitude e rejeitado brechas e filões.

Rabadão

Para além das ocorrências principais já mencionadas, há ainda a referir o campo filoneano do Rabadão, localizado a ocidente de Vale Pião, constituído por filões quartzosos de volframite, de atitudes N60-70°W, 70-80°NE e, menos frequentemente, N30-40°E 55-75°NW, e filões quartzosos de cassiterite e volframite, de atitudes N0-10°E, 70-80°E e N10-25°W, 15-20°W (Borralho & Parra, 1988; Parra, 1990).

2.2.2. Faixa Au-Ag de Escádia Grande

A **Faixa auro-argentífera de Escádia Grande** ocupa um cisalhamento esquerdo, orientado NW-SE, subparalelo à ZCPTC e compreende dois sectores: **Escádia Grande – Seixo**, com filões quartzosos dispostos ao longo da charneira de sinforma secundário; **Fonte Limpa**, com zona de alteração metamórfica em que ouro e sulfuretos estão disseminados em xistos e filão quartzoso em charneira de antiforma secundário (SIORMINP, 2015). Cerveira (1946) incluiu as mineralizações de **Escádia Grande**, **Roda Cimeira**, **Roda Fundeira**, **Covas do Forno** e **Alto de Álvares**, que ocorrem paralelamente à direcção Penedos de Góis – Fonte Limpa, num grupo que considera apresentar valor económico relevante e relacionado com a tectónica de movimento vertical.

Escádia Grande

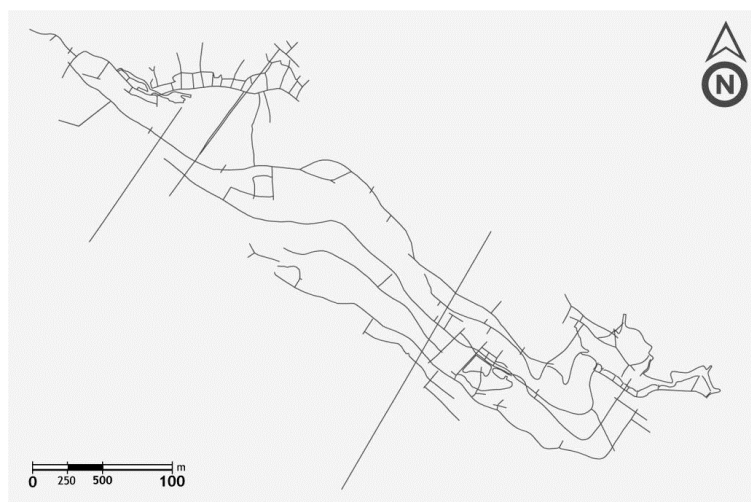


Fig. 2.10. Planta das galerias da mina de Escádia Grande (fonte: EDM, adaptado dos originais do Serviço de Fomento Mineiro).

O início da exploração mineira na Escádia Grande remonta a tempos romanos, sendo que na época moderna, a exploração ocorreu entre 1940 e 1952. O jazigo explorado corresponde a uma estrutura tabular, cujas características fundamentais são: filão de direcção N30-40-55°W, inclinando 50-60°SW, com possança média de 50-70cm e teores médios em ouro de 8g/t e prata de 33g/t (Cerveira, 1956; Carvalho, 1986b; SIORMINP, 2015).

Este jazigo, de paragénese As-Au-Ag (SIORMINP, 2015) ou As-Pb-Zn-Cu-Au (Pereira *et al.*, 1993), é considerado como pertencente a D1/D3 e segundo Cerveira (1946) e Pereira *et al.* (1993) é composto por dois tipos de filões:

(1) os primeiros, de interesse económico reduzido, preenchem fendas sub-horizontais de fraca espessura, «relacionados com o modelo de estiramento segundo o eixo cinemático α antes de preconizados para os dobramentos D1 que afectam o encaixante metassedimentar»; a este grupo pertencem muitas das ocorrências atribuídas à Faixa auro-argentífera Vieiro-Fonte Limpa;

(2) os segundos, de maior espessura, direcção N30°W, pouco inclinados para SW, estarão possivelmente relacionados com os cisalhamentos activos desde as fases precoces até ao Estefaniano que condicionam o sinforma do Buçaco; são recortados por fracturas N40°E, compatíveis com a direcção de compressão máxima em D3.

Embora as características geométricas e o tipo de tectónica a que pertencem permita distinguir os filões em dois grupos, a respectiva mineralização apresenta características semelhantes: enchimento de quartzo aurífero impregnado de sulfuretos complexos, com predominância da arsenopirite, encontrando-se também alguma galena, blenda e calcopirite; o ouro encontra-se finamente disseminado na arsenopirite (Cerveira, 1946; Carvalho, 1979). Note-se, mais uma vez, que a exploração realizada foi acompanhando a direcção dos filões mineralizados (Fig. 2.10).

De entre os acidentes tectónicos que afectam o jazigo, Cerveira (1946) destaca o sistema de direcção NE-SW, o qual afirma corresponder à movimentação terciária, e dois sistemas de falhas normais, um deles paralelo aos filões N30°W e outro que lhe é oblíquo, que provocam rejeitos cuja importância aumenta em profundidade. De acordo com Santos Oliveira (1990), a área da mina de Escádia Grande encontra-se separada em dois blocos separados por sistemas de fracturas dominantes com direcções NNW-SSE e ENE-WSW. Ibid. conclui que foi uma falha inversa de atitude NW-SE, 45°SW, originada pela compressão tardia dos blocos referidos, que controlou a deposição do minério.

Segundo Carvalho (1986b), nos últimos anos de exploração da mina verificou-se que o filão explorado «fechava» para NW e que para SE este era interrompido por uma falha de grandes proporções, para lá da qual «o filão já não conserva as mesmas características». Esta falha, à qual *ibid.* se refere como Falha Grande, tem direcção N8°W, 65-70°E, possança 6-10m, enchimento argiloso fortemente laminado e movimento inverso com rejeito horizontal de aproximadamente 40m. O mesmo autor refere, ainda, que o jazigo começa a apresentar irregularidades em profundidade e que a estrutura tabular passa a apresentar uma tendência lenticular.

Covas do Forno

Cerveira (1946) refere esta ocorrência, cuja localização se desconhece, descrevendo-a como filões muito ricos em prata e nos quais surge argentite.

Fonte Limpa e Vale Torto

Fonte Limpa é local de ocorrências de ouro disseminadas em rochas hospedeiras e filonianas, de morfologia estratiforme e em zona de cisalhamento (SIORMINP, 2015). A mineralização, associada à paragénese As-Au-Ag-(Pb-Zn), estará possivelmente relacionada com remobilização metamórfica (*ibid.*). Viegas & Martins (1992) referem Fonte Limpa como uma zona enriquecida em Au, representando a intersecção de um eixo mineralizado N40-50°W (passando na Escádia Grande) e outro de direcção N50-60°E, relacionado com teores anómalos de Pb e Zn.

Em **Vale Torto** foi explorado ouro e antimónio (SIORMINP, 2015). Tanto as mineralizações de antimónio (estibina) como as de ouro são do tipo filoniano e em *stockworks* e estão associadas à paragénese Sb-Au (*ibid.*). De acordo com a mesma fonte, a mineralização ocorre num filão quartzoso, com rumo N30°W e pendor fraco para NE com 60cm de possança.

Roda Fundeira e Roda Cimeira

Na **Roda Fundeira** foi identificada uma ocorrência mineral não-económica de ouro disseminado em filão de quartzo relacionado com as fases variscas D1/D3 (SIORMINP, 2015). Esta ocorrência está ligada à paragénese Au-As-Ag e tem como mineralizações secundárias arsenopirite, calcopirite, esfalerite, galena e pirite. Não foram encontradas quaisquer referências em relação à ocorrência de Roda Cimeira para além da de Cerveira (1946).

Alvares

Para além de Cerveira (1946), que afirma que nos filões do Alto de Álvares o ouro nativo é identificável à vista, apenas foram encontradas escassas referências a Alvares junto da respectiva Junta de Freguesia: *«A tradição assegura que as aluviões do rio contêm ouro, que no passado foi alvo de exploração mineira; recentemente, realizaram-se sondagens que se diz terem sido positivas. Também a exploração de volfrâmio trouxe certa prosperidade, mas de efémera duração»*.

2.2.3. Faixa Au-Ag Vieiro–Fonte Limpa

A faixa **auro-argentífera Vieiro–Fonte Limpa** estende-se ao longo de uma falha aproximadamente N-S e compreende os filões quartzosos de **Vieiro, Cadafaz, Corterredor, Mestras e Cabeçadas** (SIORMINP, 2015). Cerveira (1946) incluiu estas ocorrências, e ainda a de **Cerdeira** (que não parece estar alinhada N-S como as restantes), num grupo de tectónica de movimento horizontal, direcção variada, inclinação máxima de 10°, possanças médias de 30cm, dispondo-se segundo uma estrutura em degrau e raramente ultrapassando os 300m de comprimento.

Vieiro

O filão auro-argentífero de **Vieiro** tem uma disposição sub-horizontal, 10cm de possança, está instalado em zona de cisalhamento das fases de deformação D1/D4 e é constituído por quartzo e arsenopirite (Parra, 1993). A mineralização é disseminada, ligada à paragénese As-Au (SIORMINP, 2015). Este filão está situado no bloco tectónico delimitado pelas falhas de Piães e da Cabreira. A colheita de uma única amostra por parte do Serviço de Fomento Mineiro revelou teores de 28,7 g/t em ouro e 6,3 g/t em prata (*ibid.*).

Cabeçadas

Em Cabeçadas ocorre filão de quartzo (D1-D3) no qual o ouro é a mineralização principal, ocorrendo de forma disseminada (SIORMINP, 2015). As mineralizações secundárias são arsenopirite, calcopirite, esfalerite, galena e pirite. Esta ocorrência está associada à paragénese As-Au-Ag (*ibid.*).

Quanto às ocorrências de Mestras, Corterredor e Cadafaz, para além das referências de Cerveira (1946) e do SIORMINP (2015), não foram encontradas mais informações.

2.3. Geomorfologia e hidrografia

De seguida far-se-á o enquadramento geomorfológico e hidrográfico da área de estudo, apresentando as principais formas de relevo da região, as linhas de água mais importantes e a relação destes elementos com o contexto geológico onde se inserem.

2.3.1. Geomorfologia

Mais uma vez, a referência de Thadeu (1951) ao enquadrar região das minas da Panasqueira poderá revelar-se adequada à área do presente estudo: *«a pequena espessura do solo e a sua natureza cascalhenta e argilosa são desfavoráveis ao desenvolvimento da agricultura, que se limita aos terrenos de aluvião no fundo dos vales»*.

A área de estudo engloba o extremo ocidental da **Cordilheira Central Portuguesa**. Soerguida na orogenia Alpina, a Cordilheira Central corresponde a um *horst* compressivo orientado sub-paralelamente à Cordilheira Bética (Ribeiro, 1988) e inclui os sistemas montanhosos da Estrela, Gardunha, Açor e Lousã (Sequeira *et al.*, 1997). A Cordilheira Central constitui uma estrutura de resalto (*pop up*), limitada a NW pela falha de Lousã-Seia e a SE por um conjunto de falhas subparalelas, que se manifestam através de uma morfologia em patamares, e das quais se destaca a falha do Ponsul (Ribeiro, 1988; Ribeiro *et al.*, 1990; Cabral, 1995). No Anexo I.D. podem consultar-se alguns perfis geomorfológicos da Cordilheira Central e serra da Lousã (Daveau *et al.*, 1986).

A área de prospecção e pesquisa de Escádia Grande, enquadrada em plena serra da Lousã, possui relevo muito acidentado, variando entre as altitudes de cerca de 200 m, no rio Ceira, e mais de 1.000 m, nos Penedos de Góis. Como anteriormente se referiu, a constituição essencialmente xistenta da Lousã e a sua topografia vigorosa proporcionam a existência de linhas de água profundamente encaixadas (em forma de V), a maioria das quais só tem água durante o Inverno (Thadeu, 1951; Andrade, 1985). A estrutura cavalgante de Lousã-Seia, que limita a norte a Cordilheira Central, controla também a evolução e enchimento das bacias meso-cenozóicas de Lousã e Arganil (Daveau *et al.*, 1986; Meireles *et al.*, 2013).

As cristas quartzíticas ordovícico-silúricas que compõem os Penedos de Góis, geologicamente discordantes do envolvente e imponentes na morfologia do terreno, devem a sua expressão a fenómenos de erosão diferencial.

Na Fig. 2.11 ilustram-se os principais aspectos geomorfológicos da região na qual a área em estudo se insere.

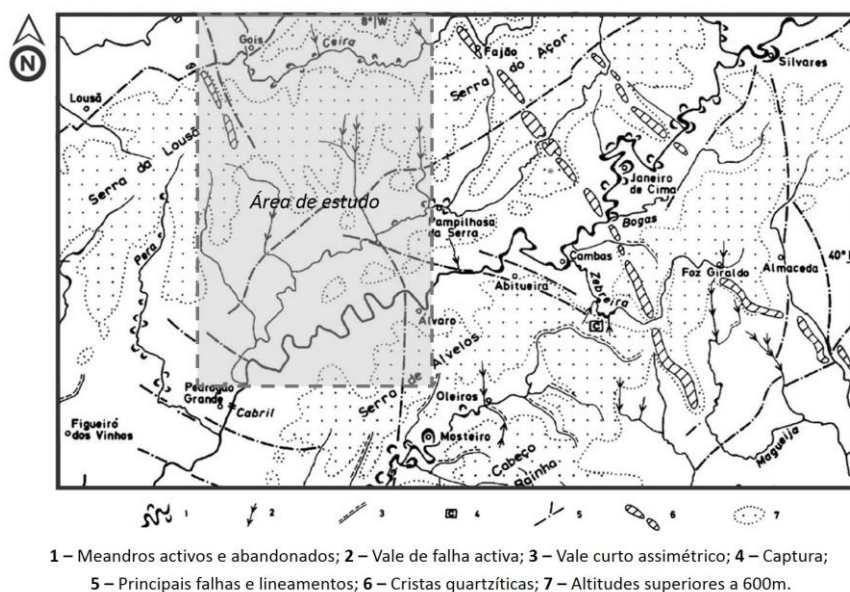


Fig. 2.11. Aspectos geomorfológicos das serras de xisto da Cordilheira Central (fonte: Daveau, 1985).

2. Enquadramento geológico e geomorfológico

Apesar de as estruturas geológicas de deformação frágil terem normalmente expressão geomorfológica evidente, *«sendo o substrato da região xistos argilosos não podemos esperar que se conservem com nitidez as formas, pois que, dada a impermeabilidade e facilidade com que se desagregam estas rochas, as regiões onde predominam são cortadas por uma rede hidrográfica que esbate e degrada quaisquer escarpas.»* (Thadeu, 1949).

Assim, a principal informação que a geomorfologia poderá fornecer deverá reflectir a tectónica mais recente. *«As formas de relevo actuais devem-se fundamentalmente à actuação da orogenia Alpina, que desta forma continua a manifestar-se devido a acções da neotectónica, através da eventual reactivação de fracturas anteriores, hercínicas. É evidente que a tectónica vigente imprime também alguma rigidez à rede hidrográfica [...]»* (Jaques Ribeiro & Gonçalves, 2013).

Na sua interpretação fotogeológica da região de Góis, Andrade (1985) afirma existirem pequenos escarpamentos nas zonas de depósitos mais recentes, provavelmente provocados por fenómenos de escorregamento, e assinala a existência de algumas superfícies de erosão.

2.3.2. Hidrografia

Dos três factores mais relevantes que controlam o desenvolvimento da rede de drenagem de uma região, isto é, tipos de rochas presentes, estruturas geológicas e clima, dois são de carácter exclusivamente geológico (Rocha & Kullberg, 2012). Deste modo, a distribuição e arranjo das linhas de água poderá ser, quase sempre, associada a condicionantes geológicos.

Os principais cursos de água que atravessam a área em estudo são o rio Zêzere, o rio Ceira e o rio Unhais. Na área de prospecção e pesquisa de Escádia Grande destacam-se apenas o rio Ceira, com os respectivos afluentes ribeiras de Celavisa, de Mestras e o rio Sótão (Fig. 2.12) e o rio Unhais, que apenas surge no canto NE da área, e é alimentado por uma série de ribeiras, das quais se destacam, de W para E, a ribeira de Mega, do Sinhel, da Foz e da Loisa.

Importa referir que, na área de Escádia Grande, os principais cursos de água estão associados a bacias hidrográficas distintas, praticamente segmentando a área em partes iguais. Enquanto na metade N os cursos de água desaguam no Ceira, pertencendo à bacia do rio Mondego, na metade S os cursos de água desaguam no rio Unhais, afluente do Zêzere, pertencendo, assim, a uma das mais importantes sub-bacias do rio Tejo.

Apesar de apresentar inúmeros meandros, o rio Ceira encontra-se muito encaixado, especialmente a montante de Góis e, de acordo com Andrade (1985), *«algumas das suas secções apresentam rumo próximo ou coincidente com a direcção da estratificação das rochas que lhe servem de leito»*. No percurso deste rio é frequente a existência de terraços fluviais bastante acima da cota do actual leito, sendo que, alguns destes terão sido alvo de exploração de ouro no passado. Na zona de Cabreira os depósitos aluvionares foram também alvo de exploração de volframite e cassiterite.



Fig. 2.12. Principais cursos de água na área de prospecção e pesquisa de Escádia Grande.

2. Enquadramento geológico e geomorfológico

A ribeira de Celavisa, que se encontra com o rio Ceira a norte da vila de Góis, está associada a importante zona aluvionar que, para além de ser actualmente aproveitada do ponto de vista agrícola, poderá estar associada a depósitos de placer de minerais com interesse económico.

Redes de drenagem

No que se refere aos padrões de drenagem a área de prospecção e pesquisa de Escádia Grande é caracterizada por padrões dendríticos, em latada e paralelos, identificando-se pontualmente padrões rectangulares (Fig. 2.13). As descrições apresentadas a seguir têm por base as definições de Drury (1993), Gupta (2003), Lillesand *et al.* (2008) e Rocha & Kullberg (2012).

O **modelo dendrítico** é dominante em relação aos restantes. Este caracteriza-se pela sua irregularidade, com afluentes de diferentes ordens hierárquicas e sem aparente direcção de escoamento preferencial. Está normalmente associado a litologias mais ou menos homogéneas, impermeáveis e de baixa porosidade, tais como rochas cristalinas ou rochas sedimentares de natureza argilosa, o que estará de acordo com a geologia da região.

As linhas de água com **padrão em latada** (*treliça* segundo os autores brasileiros e *trellis*, em inglês) caracterizam-se geometricamente pela direcção preferencial e rectilínea do curso principal e por afluentes também rectilíneos, paralelos entre si e praticamente perpendiculares ao curso principal. Entre outros, este padrão está associado a rochas deformadas (dobradas) e a níveis interestratificados de diferentes resistências mecânicas, facto, mais uma vez comprovado pela geologia regional.

O **padrão paralelo** caracteriza-se pelo escoamento unidireccional das linhas de água, ocorrendo paralelas entre si, não se intersectando até distâncias relativamente extensas e fazendo-o segundo ângulos agudos. Este padrão pode estar relacionado com superfícies de resistência estrutural extensas e com a existência de fracturas com uma direcção mais importante.

Por fim, o **padrão rectangular** indica o controlo estrutural do curso de água através de diaclases ou falhas, estando associado a rochas mais rígidas. Tendo em conta a geologia da área, este padrão poderá indicar fracturação e/ou sequências mais grauvacóides. Pode verificar-se que os padrões rectangulares identificados surgem normalmente alinhados, tais como são os casos das ribeiras do Sinhel e da Foz ou dos afluentes do Ceira imediatamente a E do rio Sótão.

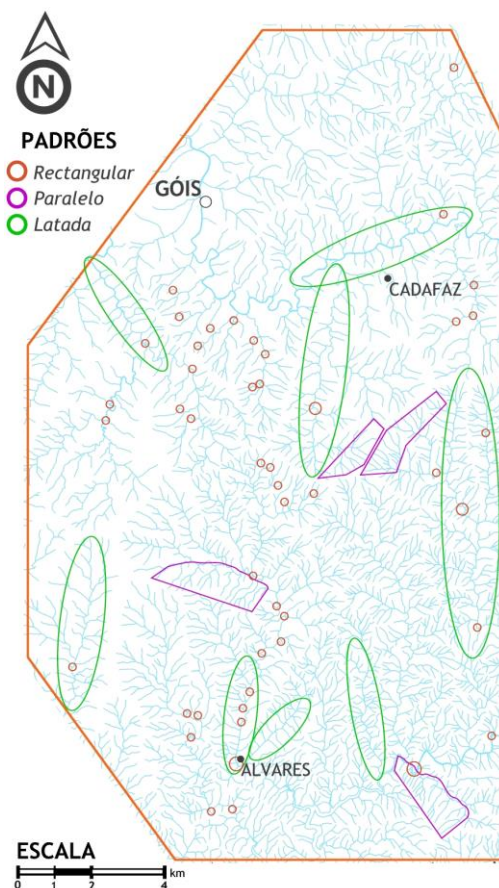


Fig. 2.13. Padrões de drenagem na região de Góis

2. Enquadramento geológico e geomorfológico

Segundo Lillesand *et al.* (2008) e Rocha & Kullberg (2012), a textura ou densidade das redes de drenagem também pode ser fonte de informação sobre a geologia. A textura das redes de drenagem pode ser avaliada entre mais grosseira (linhas de água mais espaçadas) ou mais fina (grande densidade de linhas de água). Se o primeiro tipo está ligado a materiais mais permeáveis ou mais resistentes (quartzitos, grés, conglomerados), com rara formação de linhas de água e com pequenos afluentes, o segundo tipo está associado a materiais impermeáveis ou brandos (essencialmente rochas argilosas), que, por não se deixarem atravessar pela água, obrigam à sua circulação superficial e à formação de números cursos de água.

Tendo em conta a densidade crescente de linhas de água, na área de estudo podem distinguir-se três áreas principais (Fig. 2.14): o limite ocidental, que inclui as ribeiras de Sótão e de Mega (1); a metade N, que inclui praticamente a bacia do rio Ceira (2); a metade S, que corresponde à bacia do rio Unhais (3). A textura grosseira no limite ocidental pode estar relacionada com a presença das cristas quartzíticas e também com a massa granítica do Coentral. Já a distinção entre as bacias dos rios Ceira e Unhais não pode ser justificada tão linearmente uma vez que, segundo as informações disponíveis, não há contrastes litológicos significativos entre as duas zonas. Assim, a distinção entre estas duas zonas poderá ser justificada por aspectos tectono-estruturais e/ou climáticos.

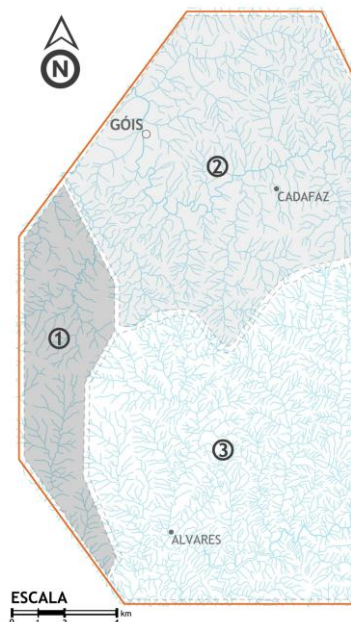


Fig. 2.14. Densidade de linhas de água: (1) Ribeiras de Sótão e Mega; (2) bacia do rio Ceira; (3) bacia do rio Unhais.

Assim, apesar da geologia mais ou menos monótona da região, os padrões de drenagem permitem inferir um importante controlo estrutural nos cursos de água e, deste modo, a identificação de linhas de fraqueza do substrato rochoso. De facto, Andrade (1985) afirma ser frequente a instalação de linhas de água ao longo de fracturas, ganhando especial evidência no caso da direcção aproximada N-S. Por outro lado, a textura das redes de drenagem também possibilita a distinção das litologias mais contrastantes que afloram na área.

3. Conceitos e métodos

3.1. Conceitos e técnicas de detecção remota

Tal como foi exposto no Capítulo 1, uma das definições mais abrangentes de **detecção remota** (DR) é a de que esta é a área científica que engloba as ferramentas e métodos que permitem a aquisição de informação sobre determinados objectos ou fenómenos, sem entrar em contacto directo com eles. No contexto específico das Geociências, os métodos de DR mais utilizados têm como objecto de estudo os fenómenos naturais ou de origem antrópica que ocorrem na superfície terrestre (ou próximo dela), nos oceanos e na atmosfera (Khorram *et al.*, 2012).

A principal fonte de informação em DR é a **radiação electromagnética (REM)** proveniente do Sol. O princípio fundamental no qual a DR se baseia é o de que é possível inferir características físicas e químicas de diferentes objectos com base na radiação que estes fazem chegar a um determinado receptor (Gupta, 2003; Fonseca & Fernandes, 2004). Como se verá adiante, um objecto pode emitir radiação própria, assim como reflecti-la de outra fonte. Essa radiação é captada por um sensor que a processa e transforma num determinado tipo de sinal passível de ser registado. Desse registo, resulta normalmente uma imagem que, depois de sofrer as devidas etapas de processamento e de interpretação, permitirá obter informação sobre determinado objecto ou fenómeno. De forma muito simplista, este é princípio básico do funcionamento das técnicas de DR, tal como esquematizado na Fig. 3.1.



Fig. 3.1. Funcionamento básico das técnicas de detecção remota.

Como posteriormente se perceberá, o olho humano apenas consegue captar uma ínfima porção da REM. Assim, um dos objectivos mais importantes das técnicas de DR passa, precisamente, por tornar visível a radiação que o olho humano não consegue captar (de Jong *et al.*, 2005), possibilitando a obtenção de informação que, de outro modo, seria muito complicado conseguir. Transformando o invisível em visível, a DR acaba por alcançar um papel de relevo em diversas disciplinas científicas, tais como a Geografia, Geologia, Zoologia, Agricultura, Gestão Florestal, Botânica, Meteorologia, Oceanografia, Engenharia, etc.

3.1.1. A radiação electromagnética

A REM engloba toda a energia que se movimenta no espaço à velocidade da luz (c) através de um movimento oscilatório harmónico. De acordo com as formulações de Maxwell, a REM consiste na propagação de dois campos vectoriais, eléctrico e magnético, ortogonais entre si, sob a forma de uma onda que se propaga na direcção perpendicular ao plano que contém esses vectores, tal como mostra a Fig. 3.2 (Drury, 1993; Fonseca & Fernandes, 2004).

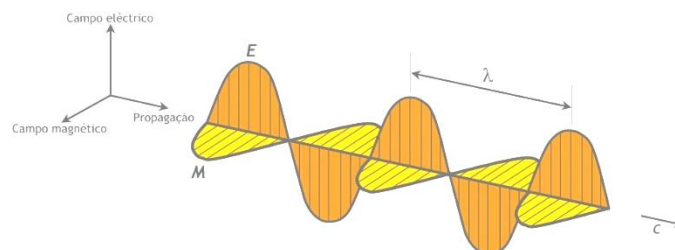


Fig. 3.2. Esquema de uma onda electromagnética (adaptado de Lillesand et al., 2008).

As ondas electromagnéticas podem ser descritas através da sua velocidade (c), comprimento de onda (λ) e frequência (ν) através da expressão:

$$c = \lambda \nu \text{ (Equação 3.1)}$$

Uma vez que a REM se movimenta a velocidade constante ($c = 3 \times 10^8$ m/s), esta pode ser simplesmente caracterizada pelo comprimento de onda ou pela frequência. Apesar de, do ponto de vista físico, ser mais correcta a utilização da última grandeza (uma vez que se mantém constante independentemente da densidade do meio que a onda atravessa), em DR é mais comum a utilização do comprimento de onda, apresentando-se normalmente em μm ou nm (Sabins, 1997; Lillesand et al., 2008).

Apesar de a maioria das características da REM serem mais facilmente descritas se esta for tida como uma onda, a teoria quântica, que trata a REM como partículas (fótons), permite perceber como é que a REM interage com a matéria (Fonseca & Fernandes 2004; Lillesand et al., 2008). Assim, esta teoria considera a energia dos fótons (Q) dada por:

$$Q = h\nu \text{ (Equação 3.2)}$$

, onde ν é a frequência, $h = 6,626 \times 10^{-34}$ (constante de Planck) e Q é dada em J.

Relacionando a teoria ondulatória e a quântica através das equações anteriores, obtém-se uma terceira expressão:

$$Q = \frac{ch}{\lambda} \text{ (Equação. 3.3)}$$

Pela Equação 3.3 tem-se que a energia de um fóton é inversamente proporcional ao comprimento de onda, pelo que «quanto maior o comprimento de onda da radiação, menor será a sua energia» (Lillesand et al., 2008). Segundo autores citados, este é um conceito importante em DR na medida em que a radiação com maior comprimento de onda é mais difícil de detectar. Quando se pretende detectar radiação de comprimentos de onda maiores é, por isso, necessário «observar» regiões mais vastas da superfície terrestre para que o sinal que chega ao sensor seja detectável (*ibid.*).

Qualquer corpo com temperatura superior ao zero absoluto ($0^\circ\text{K} = -273^\circ\text{C}$) emite REM (Campbell & Wynne, 2011). Para além de emitirem a sua própria radiação, os objectos podem reflectir aquela que é emitida por outras fontes. Apesar de existirem métodos de DR que utilizam energia própria (métodos activos), a maioria depende da energia do Sol (métodos passivos). Ao conjunto das REM emitidas pelo Sol dá-se o nome de **espectro electromagnético**.

O espectro electromagnético

A REM abrange a sucessão contínua de comprimentos de onda inferiores a 10^{-13}m (radiação gama mais energética), até àqueles superiores a 10^5m (ondas rádio muito longas). Apesar de ser contínuo, por convenção científica, o espectro electromagnético é

normalmente dividido em diversas regiões (Weng, 2010). Embora esta seja uma prática comum, Lillesand *et al.* (2008) ressaltam que não existe uma divisão clara entre cada uma das regiões, chegando a existir inúmeras contradições, consoante os autores, no que toca às denominações e aos limites entre as regiões.

Tendo em conta o comprimento de onda crescente, as principais divisões do espectro incluem: raios gama, raios-X, raios ultra-violeta, radiação visível, infravermelhos, micro-ondas e ondas rádio. Na Fig. 3.3, podem ver-se as principais divisões do espectro electromagnético, respectivos comprimentos de onda e frequências.

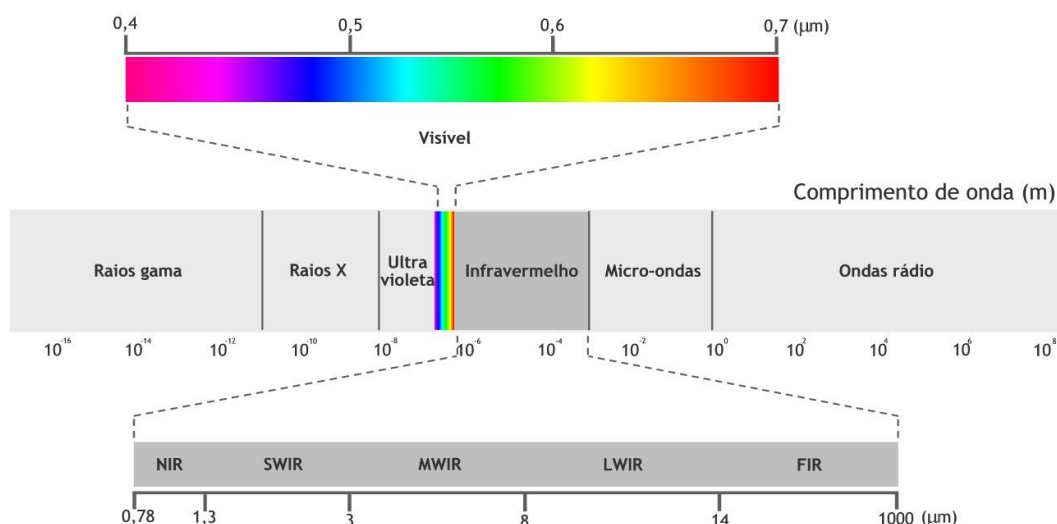


Fig. 3.3. Espectro electromagnético, com pormenores das regiões do visível e do infravermelho.

Tabela 3.1. Principais divisões do espectro electromagnético (adaptado de Sabins (1997), Konecny (2003) e Lillesand *et al.* (2008)).

Região		Comprimento de onda	Frequência
Radiação cósmica		$10^{-16} - 10^{-13}$ m	$4,7 \times 10^{12} - 3 \times 10^{24}$ Hz
Raios gama		10^{-4} nm – 0,4 mm	$8 \times 10^{16} - 4,7 \times 10^{25}$ Hz
Raios-X		0,4 – 10 nm	$3 \times 10^{16} - 8 \times 10^{16}$ Hz
Ultra-violeta		10 – 380 nm	$7,9 \times 10^{14} - 3 \times 10^{16}$ Hz
Visível	Azul	0,38 – 0,50 μ m	$3,8 \times 10^{14} - 7,9 \times 10^{14}$ Hz
	Verde	0,50 – 0,60 μ m	
	Vermelho	0,60 – 0,78 μ m	
Infra-vermelho	Próximo (NIR)	0,78 – 1,30 μ m	$3,0 \times 10^{14} - 3,8 \times 10^{14}$ Hz
	Médio (SWIR)	1,30 – 3 μ m	$3,7 \times 10^{13} - 3,0 \times 10^{14}$ Hz
	Térmico (MWIR)	3 – 8 μ m	$3,0 \times 10^{11} - 3,7 \times 10^{13}$ Hz
	Térmico (LWIR)	8 – 14 μ m	
	FIR	14 μ m – 1mm	
Microondas		1mm – 1m	300 MHz – 300 GHz
Ondas rádio		> 1m	50 Hz – 300 GHz

A região **ultra-violeta** (UV) pode ser subdividida em diversas regiões, mas apenas a radiação do UV próximo (0,32 – 0,40 μ m) pode ser utilizada em técnicas muito específicas de DR, através da fluorescência induzida em determinados materiais (Campbell & Wynne, 2011). O facto de a radiação UV ser facilmente dispersa na atmosfera, faz com que esta acabe por não ser geralmente utilizada em DR.

À região do **visível**, comumente chamada de *luz*, corresponde a radiação discernível pelo olho humano. O espectro visível é formado por uma série contínua de cores, desde o violeta até ao vermelho, sendo usual a subdivisão entre três regiões: **azul** (0,4 –

0,5 μm), **verde** (0,5 – 0,6 μm) e **vermelho** (0,6 – 0,7 μm). Apesar de esta região compreender um intervalo de comprimentos de onda extremamente reduzido, a sua importância é mais do que óbvia em todas as técnicas de DR.

Ao conjunto de radiação cujos comprimentos de onda são superiores aos do vermelho da região visível do espectro dá-se o nome de **infravermelho** (IV). Comparada com a do visível, a região IV abrange uma porção considerável do espectro, incluindo comprimentos de onda desde 0,78 μm até 1mm. As principais regiões do infravermelho com interesse em DR são o **IV próximo** (NIR – 0,7 – 1,3 μm), o **IV médio** (SWIR – 1,3 – 3 μm), e o **IV térmico** (MWIR-LWIR – 3 – 14 μm). As características entre o IV próximo e térmico são tão distintas que são necessários sensores diferentes para os captar (Campbell & Wynne, 2011).

Os maiores comprimentos de onda usados em DR pertencem à região das **micro-ondas** (1mm – 1m).

Os métodos de DR mais comuns operam nas regiões do espectro correspondentes ao visível, infravermelho e micro-ondas do espectro (Lillesand *et al.*, 2008). A correcta interpretação dos dados obtidos através de DR depende de uma boa compreensão da REM e da maneira como esta interage com a matéria, especialmente aquela que compõe a superfície terrestre (Campbell & Wynne, 2011).

Interação da radiação electromagnética com a matéria

A chave para perceber como é que os dados obtidos por DR podem ser utilizados para reconhecer os diferentes materiais que compõem a superfície da Terra está no modo como a REM interage com a matéria (Drury, 1993). A energia detectada pelos sistemas de DR é função directa do modo como esta se distribui desde a sua fonte e do modo como interage com a matéria até atingir um sensor (*ibid.*).

Nas suas interações com a matéria, a REM incidente pode ser: (1) **transmitida**, passando através do objecto sem interagir com as suas partículas, sendo a energia recuperada na face oposta à de incidência; (2) **absorvida**, perdendo energia fundamentalmente sob a forma de calor; (3) **dispersa**, alterando-se a direcção de propagação; (4) **reflectida**, ou seja, reenviada para o espaço envolvente, do mesmo lado de incidência da REM e sem alteração de frequência; (5) **reemitida** noutro comprimento de onda, depois de absorvida (Drury, 1993; Sabins, 1997; Fonseca & Fernandes, 2004).

Dois fenómenos de reflexão podem ser considerados: no caso de uma superfície perfeitamente plana, a energia é toda reflectida na mesma direcção, sem que ocorra dispersão, daí resultando **reflexão especular**; no caso de uma superfície extremamente irregular a energia incide em diferentes ângulos, acabando dispersa em quase todas as direcções – **reflexão difusa** (Fig. 3.4). A maioria dos materiais à superfície da Terra apresenta um comportamento intermédio entre a reflexão especular e a difusa, daí resultando que os sensores apenas conseguem captar a energia reflectida segundo determinado ângulo (Pinho, 2009; Weng, 2010).

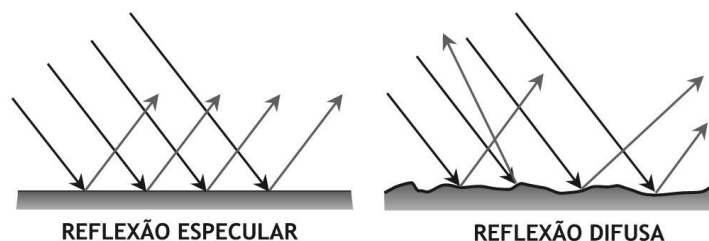


Fig. 3.4. Fenómenos de reflexão especular e difusa.

Independentemente da sua origem, toda a REM detectada pelos sensores de DR atravessa a atmosfera da Terra (ou pelo menos uma parte dela) antes de atingir o alvo e quando é reflectida de volta até ao sensor. Os gases, água e aerossóis que constituem a atmosfera interagem com a REM essencialmente através de fenómenos de absorção e dispersão. A atmosfera terrestre funciona, então, como um filtro para a radiação com determinados comprimentos de onda. Esse comportamento faz com que nem todas as regiões do espectro possam ser utilizadas em DR, estando esta limitada às regiões em que absorção atmosférica não se faz sentir, ou seja, naquelas em que a transmissividade é mais elevada – **janelas atmosféricas** (Brito, 2007a). Na Fig. 3.5 encontram-se representadas as principais janelas atmosféricas.

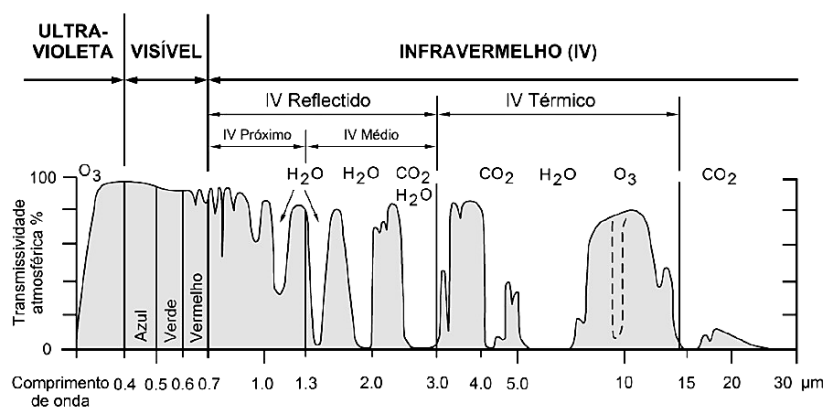


Fig. 3.5. Diagrama do espectro electromagnético apresentando as janelas atmosféricas e as bandas de absorção (fonte: Pinho, 2009).

Outro fenómeno influente em DR é a **dispersão atmosférica**. Este fenómeno, causado pela interacção existente entre a REM e os gases e partículas existentes na atmosfera, produz uma fonte de iluminação extra para o sensor, degradando a qualidade visual das imagens através da redução de contraste (Brito, 2007a). A este fenómeno é também atribuído o nome de **efeito de neblina**. Segundo Fonseca & Fernandes (2004), os fenómenos de dispersão podem ser divididos em três categorias diferentes dependendo da dimensão das partículas causadoras da dispersão: **dispersão de Rayleigh**, **dispersão de Mie** e **dispersão difusa**. Quanto menor o comprimento de onda da REM, maior o efeito de dispersão atmosférica (Pinho, 2009). O facto de a radiação UV ser fortemente dispersa pela atmosfera é a principal razão que leva a que esta gama de comprimentos de onda raramente seja utilizado em DR (*ibid.*).

Os principais métodos de DR são empregues para detectar e registar REM reflectida ou emitida (Khorram *et al.*, 2012). Uma vez que a maior parte dos sistemas passivos de DR se baseiam no registo da REM reflectida pela superfície terrestre, importa introduzir o conceito de reflectância. **Reflectância**, também de **coeficiente de reflexão**, é o termo utilizado para definir a relação entre a quantidade de REM reflectida por uma superfície e a quantidade de REM incidente (Drury, 1993; Weng, 2010). A reflectância depende da rugosidade do objecto, do comprimento de onda da radiação incidente, do ângulo de incidência da radiação e da natureza dos materiais (Pinho, *op. cit.*). Em termos meramente visuais, a quantidade de REM reflectida ou emitida por um objecto pode ser descrita como o seu **brilho**; assim, quanto maior o brilho de determinado objecto maior a sua reflectância, independentemente do comprimento de onda considerado (Drury, 1993).

Comportamento espectral das principais coberturas

Para qualquer tipo de material, a quantidade de REM reflectida, absorvida ou transmitida varia de acordo com o comprimento de onda, tornando possível a identificação individualização de diferentes substâncias com base na sua **assinatura, resposta ou comportamento espectral** (Weng, 2010). Segundo Fonseca & Fernandes (2004), a resposta espectral de um objecto depende das suas características físicas, do ângulo de vista do sensor e do azimute e elevação solar (que condicionam o ângulo de incidência da REM).

À representação gráfica do comportamento espectral dá-se o nome de **curva espectral**. No eixo das abcissas apresentam-se os diferentes comprimentos de onda, enquanto as ordenadas representam normalmente a reflectância, em percentagem. De modo a facilitar a leitura, é comum que curvas pertencentes a objectos diferentes se apresentem deslocadas na vertical (Sabins, 1997). Estas curvas permitem conhecer as características espectrais de determinado objecto e são especialmente utilizadas para determinar quais os comprimentos de onda a detectar consoante o tipo de aplicação.

Em DR tem-se normalmente que a paisagem é formada por três elementos dominantes: água, vegetação e solo. Na Fig. 3.6 apresenta-se o comportamento espectral para os três elementos referidos.

Uma vez que a **água** absorve totalmente os comprimentos de onda superiores à radiação visível, a sua reflectância é praticamente nula a partir da região do infravermelho. O comportamento espectral da água está principalmente dependente da natureza e concentração de materiais em suspensão, da profundidade existente e da rugosidade da sua superfície (Brito, 2007a). A presença de materiais em suspensão aumenta a reflectividade da água, como é o caso da clorofila, que provoca um aumento da reflectividade na banda verde da região do visível (*ibid.*).

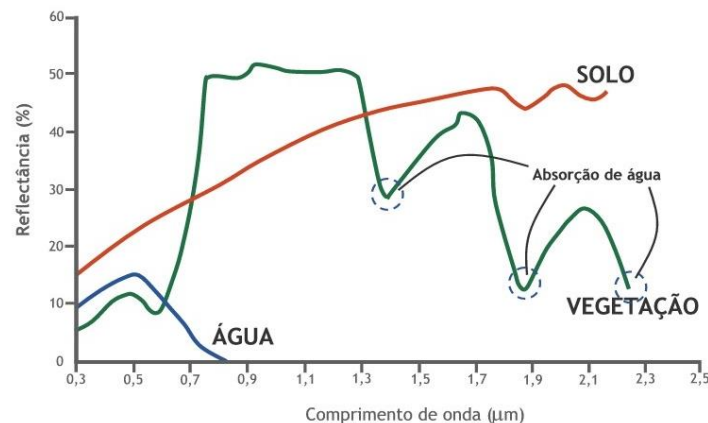


Fig. 3.6. Comportamento espectral da água, vegetação e solo (adaptado de Gupta, 2003).

As características espectrais da **vegetação** variam consideravelmente no tempo e no espaço, dependendo da espécie ou conjunto de espécies, do ciclo de vida da planta, da morfologia do coberto vegetal, do teor em água, da estação do ano considerada, entre outros factores (*ibid.*). Ao contrário da água, a reflectância espectral da vegetação apresenta uma grande variação em função do comprimento de onda (Fonseca & Fernandes, *op. cit.*). Uma vez que o solo onde a vegetação se desenvolve influencia praticamente todas as suas características físicas e químicas, a sua resposta espectral pode, muitas vezes, ser utilizada para inferir a composição dos solos. Assim, determinadas espécies vegetais podem ser utilizadas como um importante guia em campanhas de prospecção geológica (**geobotânica**).

A curva espectral dos **solos** é relativamente menos complexa do que a da vegetação, caracterizando-se por uma reflectância relativamente baixa na região do visível, aumentando gradualmente com o incremento do comprimento de onda (Brito, 2007a). O comportamento espectral do solo reflecte essencialmente a sua composição química, o teor em água, a sua textura e o teor em matéria orgânica (Fonseca & Fernandes, 2004).

Comportamento espectral das rochas e minerais

Tendo em atenção o âmbito da presente dissertação, interessa de sobremaneira abordar a resposta espectral das **rochas** e **minerais**. O comportamento espectral das rochas está intimamente relacionado com a sua composição mineralógica e respectivas propriedades físicas e químicas.

Os minerais são constituídos por proporções de vários elementos, formando átomos e moléculas através de diferentes tipos de ligações. Os elementos mais comuns na crosta terrestre são O, Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na e K, no entanto, as propriedades dos átomos de O, Si e Al são tais que impedem quaisquer transmissões energéticas entre estes elementos nas regiões do visível e IV próximo, ou seja, nos comprimentos de onda do intervalo 0,4-1 μ m (Drury, 1993; Gupta, 2003). Assim, o comportamento espectral dos minerais nas regiões do visível e IV próximo é determinado pela presença de elementos menos comuns, como os metais de transição: Fe, Cu, Ni, Cr, Co, Mn, V, Ti e Sc (Goetz *et al.*, 1983; Drury, 1993). Destes, o Fe é claramente o mais abundante, pelo que é a este elemento que pertencem as propriedades espectrais mais relevantes nos referidos comprimentos de onda (Gupta, 2003). A ocorrência de anomalias de absorção³ em comprimentos de onda inferiores a 0,9 μ m é normalmente indicadora da presença de **hematite**, e quando na vizinhança ou superiores a esse valor, podem indicar a presença de **goethite** e de **jarosite** (Rajesh, 2004). A banda de absorção entre os comprimentos de onda de 0,85-0,92 μ m é utilizada para identificar **limonite** (Goetz *et al.*, 1983). Na Fig. 3.7 ilustram-se as curvas espectrais de alguns óxidos e hidróxidos de Fe.

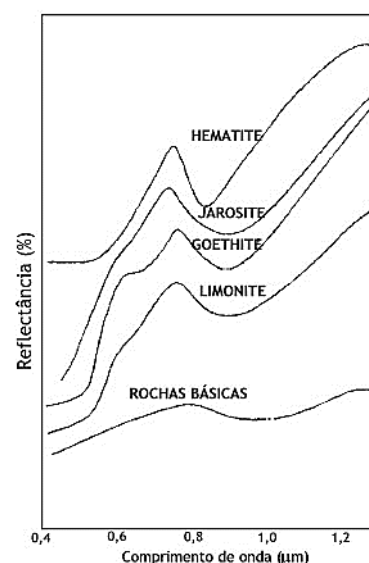


Fig. 3.7. Curvas espectrais de alguns óxidos e hidróxidos de Fe (adaptado de Drury, 1993).

O comportamento espectral dos minerais na região SWIR (1-3 μ m) é marcado pela presença de água molecular, do ião hidroxilo (OH⁻) ou de carbonatos (Gupta, *op. cit.*). Os fenómenos de absorção nos comprimentos de onda 1,4 μ m e 1,9 μ m são indicadores da presença de água na estrutura molecular dos minerais, podendo, por isso, ser associados a diversos **minerais argilosos** (Rajesh, *op. cit.*). A reflectância dos minerais argilosos decresce a partir dos 1,6 μ m, sendo que entre 2,1-2,4 μ m este comportamento pode ser atribuído à **alunite**, **pirofilite** e **moscovite** (Goetz *et al.*, *op. cit.*). Ainda em relação aos minerais argilosos, Gupta (*op. cit.*) indica que estes podem ser identificados a partir de uma banda de absorção entre 2,1-2,4 μ m. Os **carbonatos** podem ser reconhecidos por vários fenómenos de absorção, dos quais se destaca o situado aos 2,3 μ m (Rajesh, *op. cit.*).

Do ponto de vista geológico a região do IV térmico é a mais importante quando se pretende perceber a composição dos diferentes materiais, já que nesta região o

³ As **anomalias de absorção**, também chamadas de «picos negativos», indicam baixa emissividade espectral, o que implica baixa absorção de energia, logo, elevada reflectância (Gupta, *op.cit.*)

comportamento espectral dos minerais é principalmente caracterizado pela presença de minerais formadores de rocha, *e.g.* silicatos, carbonatos, óxidos, fosfatos, sulfatos, nitratos, nitritos (Gupta, 2003). Na Fig. 3.8 apresentam-se as curvas espectrais, na região do IV térmico, para os grupos de aniões e minerais mais importantes.

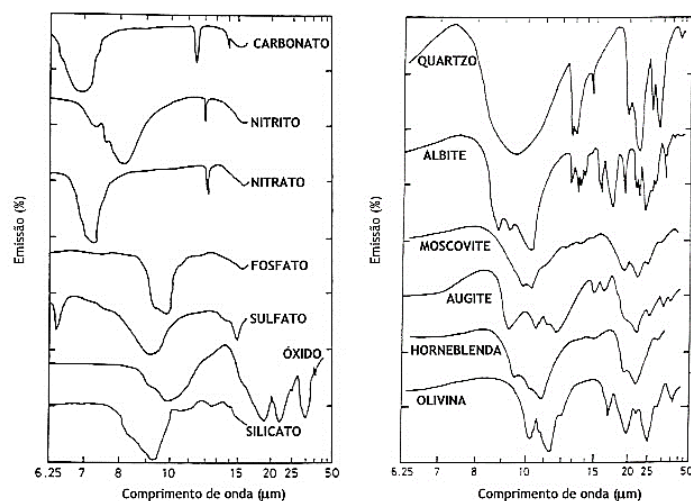


Fig. 3.8. Curvas espectrais dos principais grupos de aniões relacionados com os materiais geológicos e dos minerais mais importantes, na região do IV térmico (fonte: Gupta, 2003).

A curva espectral das rochas depende, naturalmente, das características dos minerais constituintes e das propriedades relacionadas com sua própria textura. Na Fig. 3.9 podem consultar-se exemplos de curvas espectrais de algumas rochas sedimentares, ígneas e metamórficas.

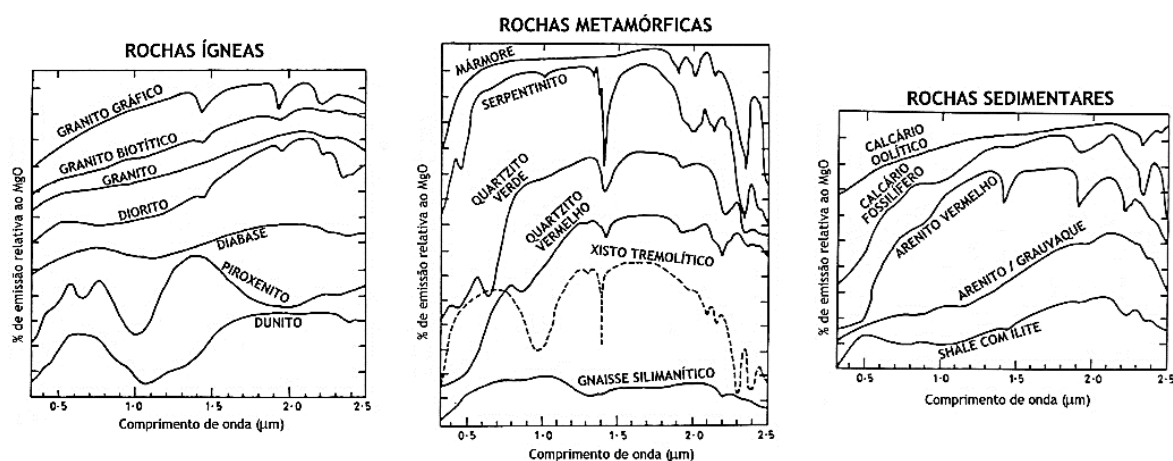


Fig. 3.9. Curvas espectrais de alguns exemplos de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares (fonte: Gupta, 2003).

3.1.2. Plataformas e sensores

As **plataformas** de DR são o suporte ou estrutura no qual está instalado o **sensor**, ou seja, o dispositivo que recebe e mede a energia electromagnética num determinado intervalo (Brito, 2007b). As plataformas utilizadas são normalmente veículos móveis que se distinguem principalmente devido à velocidade a que se deslocam e à altitude a que operam: helicópteros, aviões, veículos aéreos não tripulados e satélites. São as características inerentes a cada plataforma e o respectivo trajecto os principais

condicionantes do tipo de informação que os sensores colocados a bordo podem obter. Os satélites que transportam sensores cujo principal objectivo é a recolha de imagens para aplicações nas áreas das Geociências têm órbitas de pequena excentricidade, quase polares e heliosíncronas, possibilitando, assim, uma melhor cobertura da superfície terrestre e iguais condições de iluminação para a mesma zona, em passagens sucessivas do satélite (Fonseca & Fernandes, 2004).

Prost (2014) faz uma inventariação extremamente completa, mas não exaustiva, das principais plataformas e sensores actualmente utilizados em DR.

Os sensores utilizados em DR podem classificar-se essencialmente quanto ao modo de operação, características espectrais, em função da plataforma em que estão instalados e em função do modo de varrimento da superfície terrestre. Em relação ao modo de operação os sensores podem ser classificados de **ativos** (emitem energia artificial) ou **passivos** (medem apenas a energia emitida naturalmente). No que se refere à medição de características espectrais (ou processo de detecção), os sensores podem ser ópticos, multiespectrais, hiperespectrais, pancromáticos, sensores de micro-ondas (*e.g.* RADAR), térmicos (*e.g.* LIDAR), etc. (Fonseca & Fernandes, *op. cit.*).

A resolução é uma das características que mais condiciona a qualidade e aplicabilidade dos dados recolhidos por um sensor. De seguida explicar-se-ão os diferentes tipos de resolução dos sensores de DR e qual o seu significado.

Resolução

O conceito **resolução** pode ser definido como a medida de capacidade que um sensor tem de distinguir entre sinais próximos, do ponto de vista espacial, ou similares, do ponto de vista espectral (Fonseca & Fernandes, *op. cit.*). Podem distinguir-se quatro tipos de resolução num sensor: espacial, radiométrica, espectral e temporal.

A **resolução espacial** depende fundamentalmente do campo de visão instantânea do sensor (**IFOV** – *Instantaneous Field Of View*), sendo tanto maior quanto menor for o IFOV. A resolução espacial pode ser tida como a mais pequena unidade de comprimento que pode ser discriminada, o que em termos de imagens corresponde normalmente à dimensão de um *píxel*. A **resolução espectral** é tida como a amplitude dos intervalos de comprimento de onda nos quais a radiação electromagnética é registada; quanto mais estreitos os intervalos de leitura, mais alta a resolução espectral e mais rigorosas as assinaturas espectrais obtidas (Fonseca & Fernandes, *op. cit.*). A **resolução radiométrica** define-se como a sensibilidade às variações de intensidade do sinal quando o sensor regista o fluxo radiante reflectido ou emitido (*ibid.*); através da expressão 2^R , na qual R indica a resolução radiométrica do sensor, em *bits*, pode calcular-se o número de níveis radiométricos ou digitais de um sensor. A **resolução temporal** refere-se à periodicidade das observações sucessivas realizadas sobre determinada área, dependendo essencialmente do movimento da plataforma, ou seja, no caso dos satélites, depende dos parâmetros orbitais (Gupta, 2003).

Expostos os conceitos básicos em relação às plataformas e sensores utilizados em DR, é importante conhecer os aspectos mais relevantes relacionados com as imagens de satélite utilizadas nesta dissertação. Deste modo, apresentar-se-á seguidamente um resumo sobre a missão Landsat e as características gerais do Landsat 8.

A missão Landsat

São inúmeros os autores que afirmam que os satélites da série Landsat constituem o projecto de DR com fins civis de maior sucesso, especialmente na área das Geociências (Drury, 1983; Gupta, 2003; Lillesand *et al.*, 2008). As boas resoluções dos seus sensores, o carácter global e periódico da observação e a disponibilização normalmente gratuita das imagens explicam a sua elevada utilização por parte de especialistas das mais diversas áreas (Salinero, 2007 *in* Pinho, 2009). Resultando de uma colaboração entre NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e USGS (*United States Geological Survey*), esta série continua ainda hoje no activo (Landsat 7 e 8), o que resulta numa contribuição para a ciência mundial com mais de quarenta anos. Na Fig. 3.10 sintetiza-se esquematicamente a longevidade das várias missões Landsat desde a sua criação.

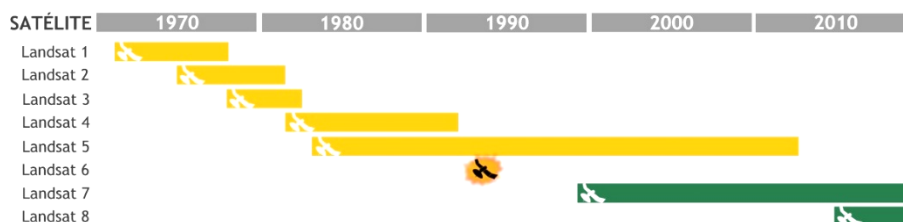


Fig. 3.10. Cronologia das missões Landsat (1972-2015).

Na segunda metade da década de 60, nos Estados Unidos, foi desenvolvido um projecto exclusivamente dedicado à observação dos recursos naturais terrestres. Inicialmente chamada *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS), só a partir de 1975 esta missão passou a ser conhecida pelo nome actual: Landsat.

O primeiro satélite (**ERTS-1** ou **Landsat 1**) foi lançado em 1972 e levou a bordo os sensores RBV (*Return Beam Vidicon*) e MSS (*Multispectral Scanner System*). A bordo do **Landsat 2** (lançado em 1975) e do **Landsat 3** (lançado em 1978) estiveram os mesmos instrumentos, tendo, no último, sido acrescentada ao MSS uma nova banda, correspondente ao infravermelho térmico.

O **Landsat 4** começou a operar em 1982, com o MSS e também o sensor TM. Dois anos mais tarde foi lançado o **Landsat 5**, com os mesmos instrumentos sensores do seu antecessor. Em 1993, já com a vida útil dos Landsat 4 e 5 já superada, foi projectado o sexto satélite da série Landsat, que, no entanto, não conseguiu atingir a órbita terrestre devido à ocorrência de falhas no lançamento. O **Landsat 6** foi projectado com o sensor ETM (*Enhanced Thematic Mapper*), com configurações semelhantes ao seu antecessor, inovando na inclusão da banda 8 pancromática com 15m de resolução espacial.

Em 1999 foi lançado o **Landsat 7**, no qual se encontra incorporado o sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*). Lançado a 11 de Fevereiro de 2013, o **Landsat 8** é a plataforma mais recente deste programa. As características gerais deste projecto serão apresentadas adiante. A NASA e os USGS já se encontram a planear o **Landsat 9**, cujo lançamento está previsto para 2023 e objectivo principal será dar continuidade ao Landsat 8.

Landsat 8

Esta plataforma espacial opera a 705km de altitude e transporta consigo dois sensores de varrimento multiespectral do tipo *pushbroom*, **OLI** (*Operational Land Imager*) e **TIRS** (*Thermal Infrared Sensor*), que agrupam os dados recolhidos em 11 bandas distintas. O sensor OLI recolhe informação dos comprimentos de onda da radiação visível e infravermelho (NIR e SWIR), possuindo ainda uma banda pancromática na região do visível. O sensor TIRS opera na região do infravermelho térmico (LWIR) e consegue

distinguir diferentes assinaturas térmicas na superfície da Terra através da utilização de ferramentas de tecnologia de ponta que se baseiam na física quântica, distribuindo-as em duas bandas. A Fig. 3.11 compara as bandas espectrais cobertas pelos sensores do Landsat 8 e Landsat 7.

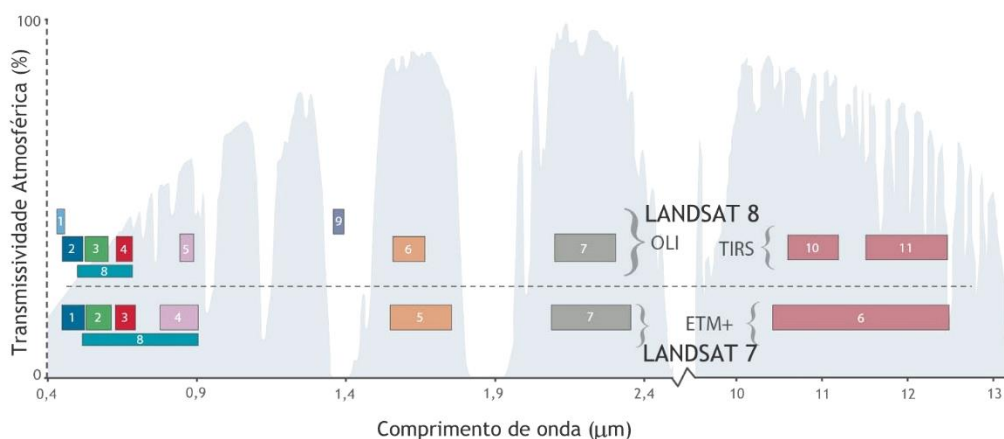


Fig. 3.11. Resolução espectral dos sensores OLI e TIRS (Landsat 8) e ETM+ (Landsat 7) (fontes: NASA e USGS).

Na Tabela 3.2 apresentam-se as principais características das bandas espectrais das imagens Landsat 8 e a sua correspondência com as do Landsat 7.

Tabela 3.2. Características das bandas espectrais das imagens Landsat 7 e 8 (NASA e USGS).

Landsat 7			Landsat 8		
Nome da banda	Resolução espectral (μm)	Resolução espacial (m)	Nome da banda	Resolução espectral (μm)	Resolução espacial (m)
-	-	-	Banda 1 Costeiro	0,43 – 0,45	30
Banda 1 Azul	0,45 – 0,52	30	Banda 2 Azul	0,45 – 0,51	30
Banda 2 Verde	0,52 – 0,60	30	Banda 3 Verde	0,53 – 0,59	30
Banda 3 Vermelho	0,63 – 0,69	30	Banda 4 Vermelho	0,64 – 0,67	30
Banda 4 NIR	0,77 – 0,90	30	Banda 5 NIR	0,85 – 0,88	30
Banda 5 SWIR1	1,55 – 1,75	30	Banda 6 SWIR1	1,57 – 1,65	30
Banda 7 SWIR2	2,09 – 2,35	30	Banda 7 SWIR2	2,11 – 2,29	30
Banda 8 Pan	0,52 – 0,90	15	Banda 8 Pan	0,50 – 0,68	15
-	-	-	Banda 9 Cirrus	1,36 – 1,38	30
Band 6 TIR	10,40 – 12,50	30/60	Banda 10 TIRS 1	10,6 – 11,19	100
			Banda 11 TIRS 2	11,5 – 12,51	100

Na Tabela 3.3 apresentam-se as principais aplicações das onze bandas espectrais recolhidas pelos sensores a bordo do satélite Landsat 8.

Tabela 3.3. Principais aplicações das bandas espectrais do satélite Landsat 8 (adaptado de Sabins (1997), Jensen (2000), Lillesand et al. (2008), Pinho (2009), NASA (2015) e USGS (2015)).

Landsat 8	
Banda	Aplicações
OLI	1 - Análise de águas costeiras pouco profundas; - Detecção de partículas finas (poeiras e fumos).
	- Estudos batimétricos e cartografia de águas pouco profundas; - Detecção de poluentes e da turbidez da água;
	2 - Detecção de fumo, proveniente de incêndios florestais ou de actividade industrial; - Distinção entre solo e vegetação; - Distinção entre caducifólias e coníferas.
	- Detecção de sedimentos em suspensão na água;
	3 - Estudos de qualidade da água; - Determinação da vitalidade da vegetação.
	- Distinção entre áreas com e sem cobertura vegetal; - Diferenciação entre espécies vegetais; - Delimitação de áreas urbanas e da rede viária.
	- Delimitação entre solos e corpos de água; - Cartografia geomorfológica; - Cartografia geológica;
	5 - Identificação de diferentes tipos de vegetação; - Identificação de áreas áridas; - Destaque da biomassa; - Destaque das linhas de costa.
	- Distinção entre diferentes tipos de solo e rocha; - Determinação do teor de humidade no solo e nas plantas; - Diferenciação entre nuvens, neve e gelo.
	- Identificação de minerais; - Cartografia de alteração hidrotermal; - Geomorfologia; - Detecção de humidade no solo e na vegetação.
TIRS	8 - Obtenção de produtos de maior resolução através da fusão de bandas espectrais, devido à sua resolução espacial de 15m.
	9 - Exclusivamente utilizada em estudos atmosféricos (particularmente das nuvens cirro).
	- Mapeamento das propriedades térmicas da cobertura;
	10 - Localização de actividade hidrotermal; - Estimação do conteúdo de água no solo.
	11 - Semelhante à B10, mas como melhorias na identificação das propriedades térmicas.

Os sensores a bordo do Landsat possuem uma resolução radiométrica de 12bits, o que significa que é possível a distinção de até 4.096 níveis de cinzento em vez dos 256 que a resolução de 8bits proporciona. Contudo, as imagens são disponibilizadas com uma resolução de 16bits, e os níveis de cinzento reajustados para 55.000.

As imagens obtidas pelos sensores a bordo do Landsat 8 podem ser adquiridas de forma gratuita a partir de três domínios pertencentes aos USGS: *GloVis*, *EarthExplorer* e *Landsat Look Viewer*. Cada cena do Landsat 8 cobre áreas de 185x180km, ocupando cerca de 1GB quando comprimida e cerca de 2GB quando descomprimida. Os produtos Landsat 8 são adquiridos previamente georreferenciados, utilizando o sistema de projecção UTM, datum WGS 84.

3.1.3. Processamento de imagens digitais

As imagens digitais são constituídas por uma grelha bidimensional de elementos de imagem (*píxeis*) aos quais corresponde um valor numérico (**nível digital**), com determinado significado físico. No caso das imagens multiespectrais de satélite, estes níveis são dados pelo valor médio do fluxo radiante reflectido ou emitido na área correspondente à dimensão do *pixel*, ou seja, ao brilho médio medido em determinada fracção do terreno. Uma vez que os sensores multiespectrais captam a energia proveniente de diferentes comprimentos de onda, um mesmo *pixel* pode conter múltiplos níveis digitais,

cada um correspondendo a uma determinada banda espectral do sensor (Lillesand *et al.*, 2008).

De uma forma muito simplificada, o **processamento de imagens digitais** engloba o conjunto de ferramentas computacionais que permitem manipular os níveis digitais de uma imagem com o objectivo de extrair a informação qualitativa ou quantitativa necessária para dada aplicação.

Com base em Sabins (1997), Fonseca & Fernandes (*op. cit.*), Brito (2007c) e Lillesand *et al.* (*op. cit.*), as técnicas de processamento de imagens digitais podem ser agrupadas nas seguintes categorias:

(1) **Pré-processamento** – inclui técnicas de rectificação e restauração que pretendem corrigir distorções presentes na imagem que, de outro modo, podem gerar erros nas fases seguintes; as principais técnicas são a correcção geométrica, correcção radiométrica e remoção do ruído.

(2) **Melhoria da qualidade da imagem** – utiliza técnicas de realce com o intuito de facilitar a interpretação; introduzem-se alterações na imagem inicial com o objectivo de realçar a informação mais importante para a aplicação em causa; as técnicas podem ser divididas em dois grandes conjuntos de transformações: espectrais e espaciais.

(3) **Extracção de informação** – inclui técnicas como a análise em componentes principais, rácios, classificação, etc.

(4) **Integração da informação** – procedimentos que envolvem a integração da informação previamente obtida e de outros dados, normalmente em ambiente SIG.

Tendo em conta que as imagens digitais podem ser vistas como uma matriz numérica, as operações matemáticas que sobre elas se podem realizar, independentemente do fim, são apenas limitadas pela capacidade de processamento do equipamento. É, então, inteiramente natural que hoje em dia exista uma enorme variedade de técnicas de processamento de imagens digitais. Por este motivo, nas páginas seguintes far-se-á apenas referências às técnicas de realce ou melhoria da qualidade da imagem mais importantes e que são utilizadas neste trabalho.

Tal como anteriormente se referiu, nesta dissertação foram utilizadas imagens Landsat 8, pelo que todas as referências a bandas espectrais são relativas aos sensores OLI (B1-B9) e TIRS (B10 e B11).

Manipulação de contraste

Apesar de os intervalos de resolução radiométrica dos sensores permitirem a captação de inúmeros níveis radiométricos, é normal que estes não sejam todos utilizados, restringindo-se os dados obtidos apenas a uma porção dos níveis disponíveis (Gupta, 2003; Schowengerdt, 2007). Daqui resulta uma concentração dos *píxeis* em torno de determinada gama de valores relativamente curta, o que faz com que a imagem surja muito homogénea, ou seja, com baixo contraste, dificultando a percepção visual de diferentes objectos.

As técnicas de **manipulação de contraste** baseiam-se no redimensionamento da escala dos níveis digitais de uma imagem. Estas técnicas são consideradas transformações pontuais, uma vez que influenciam cada *pixel* individualmente, sem ter em conta e sem afectar os *píxeis* contíguos.

Os métodos de manipulação de contraste mais comuns incluem: expansão linear, expansão multi-linear, expansão logarítmica ou exponencial, expansão gaussiana, expansão uniforme, equalização do histograma, *density slicing* e a criação de *thresholds* (Drury, *op. cit.*; Sabins, 1997; Gupta, *op. cit.*; Schowengerdt, *op. cit.*). Na Fig. 3.12 ilustram-se alguns destes métodos.

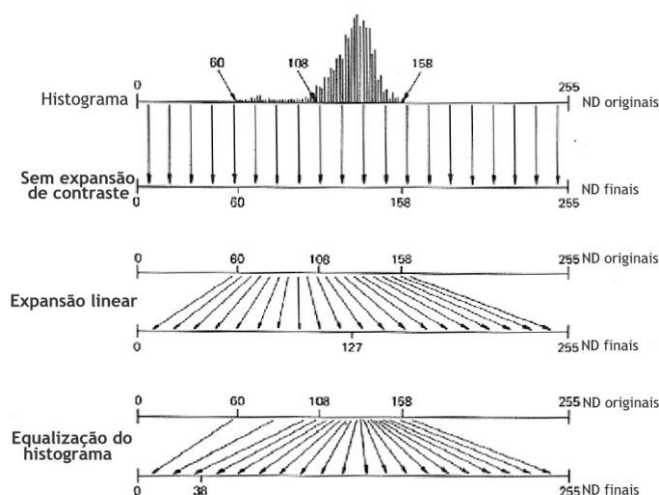


Fig. 3.12. Princípios básicos da manipulação de contraste (Lillesand et al., 2008).

Composições coloridas

A técnica de **composição colorida RGB** consiste na atribuição de uma das três cores primárias aditivas – vermelho (*Red*), verde (*Green*) e azul (*Blue*) – a cada uma de três bandas espectrais ou rácios entre bandas distintas, e na sua sobreposição simultânea (Brito, 2007c).

À composição RGB que utiliza as bandas do espectro visível e as faz corresponder à *cor que o olho humano* vê dá-se o nome de composição de **cor verdadeira** (*true colour*). No caso das imagens Landsat 8, a composição RGB verdadeira corresponde às bandas 4-3-2. Uma vez que qualquer outra combinação de cores e bandas não corresponde à forma como o olho humano vê, estas recebem o nome de **falsa cor** (*false colour*). As composições RGB de falsa cor são especialmente úteis para tornar perceptível ao olho humano as propriedades de reflectância das coberturas nos comprimentos de onda, que este não consegue captar.

A selecção de bandas para realizar uma composição RGB, assim como a ordem que é atribuída, depende essencialmente dos sensores utilizados, dos objectivos do trabalho em causa e das características da área de estudo (Pinho, 2009).

Fazendo a conversão adequada para as bandas espectrais dos sensores do Landsat 8, as combinações RGB mais utilizadas na detecção de características geológicas incluem: 6-5-2, 6-5-3, 7-5-2, 7-5-3 e 7-6-5 (Rabaça et al., 2004).

Uma vez que o número total de combinações RGB possíveis de conseguir com determinada imagem de satélite depende apenas do número de bandas espectrais (n) que sejam seleccionadas para o efeito, ou seja, C_3^n , a simples utilização do método de tentativa-erro pode tornar-se bastante morosa no caso de imagens de alta resolução espectral. A selecção objectiva do conjunto de bandas espectrais mais adequadas à construção de uma composição RGB pode ser conseguida, por exemplo, através da aplicação do índice **OIF** – **Optimum Index Factor**. O OIF é calculado com base na seguinte expressão,

$$OIF = \frac{\sum_{i=1}^3 \sigma_i}{\sum_{j=1}^3 |CC_j|} \quad (\text{Equação 3.4})$$

onde σ_i é o desvio padrão de cada uma das três bandas que integram a composição RGB e CC_j é o coeficiente de correlação entre cada par de bandas da composição.

O princípio base deste índice é o de que as bandas com OIF mais elevado são as mais apropriadas para construir composições RGB na medida em que, teoricamente, são

as que combinam mais informação (máxima variância), com um mínimo de duplicação (baixa correlação entre bandas) (Chavez *et al.*, 1982; van der Meer *et al.*, 2012).

Muito embora o OIF tenha sido originalmente criado por Chavez *et al.* (1982) para determinar qual a melhor composição RGB para rácios entre diferentes bandas (obtida pela combinação dos três OIF mais elevados), a sua utilização pode ser estendida, sem perda de significado, a composições RGB «simples».

A principal limitação na utilização deste índice ou de outros semelhantes prende-se com o facto de a combinação RGB que apresenta mais informação geral sobre determinada imagem poder não ser aquela que possibilita a aquisição de informação específica se procura (Lillesand *et al.*, 2008). Assim, apesar de úteis, estas abordagens nunca deverão utilizadas para substituir metodologias que pretendam realçar características específicas (Beauchemin & Fung, 2001).

Filtros digitais ou matrizes de convolução

Uma das características das imagens de satélite é a **frequência espacial**. Esta pode ser definida como o número de variações dos níveis radiométricos por unidade de distâncias, numa determinada zona da imagem (Fonseca & Fernandes, 2004). Assim, se estas variações forem baixas considera-se a zona como de baixa frequência e se forem altas, a frequência também o será.

Os **filtros espaciais** ou **matrizes de convolução** são utilizados para modificar a frequência espacial de uma imagem, alterando o valor de cada nível radiométrico em função dos vizinhos. Estes filtros são constituídos por matrizes numéricas (usualmente de dimensões 3x3, 5x5 ou 11x11) que vão percorrendo a imagem original de forma sequencial, substituindo o valor central da matriz por um novo, determinado com base nos valores dos vizinhos multiplicados pelos valores da matriz utilizada (Fonseca & Fernandes, 2004; Brito, 2007c).

Os filtros espaciais podem dividir-se em dois grandes grupos: os **filtros de alta frequência** (*high pass filters*) e os **filtros de baixa frequência** (*low pass filters*). Os primeiros são utilizados quando se pretende realçar arestas ou contornos, enquanto os segundos para homogeneizar uma imagem (Brito, 2007c).

De acordo com Gupta (2003) as principais vantagens da utilização de filtros de alta frequência nas Geociências incluem: a obtenção de imagens mais definidas, o realce de características lineares e a atenuação dos efeitos da iluminação.

Os operadores matriciais utilizados podem ser isotrópicos ou direccionais, dependendo a sua utilização de se pretender destacar objectos que se orientem consoante determinada direcção ou não. Apesar de poderem ser aplicados sobre qualquer tipo de imagem ou banda espectral, nos domínios específicos da Geologia, é mais comum a utilização das bandas B6 (Scanvic, 1997; Rabaça *et al.*, *op. cit.*; Solomon & Ghebream, 2006; Kavak & Cetin, 2007; Filho & Fonseca, 2009) ou B7 (Cengiz *et al.*, 2006), ou seja, correspondentes ao IV médio (SWIR).

Análise em Componentes Principais

É frequente que as imagens multiespectrais possuam correlações muito elevadas entre si, o que se pode dever à semelhança da resposta espectral dos materiais detectados, à topografia (exceptuando na zona do IV térmico, os efeitos da iluminação solares são idênticos para uma mesma área) e ao facto de as bandas dos sensores se poderem sobrepor (Schowengerdt, 2007). As imagens de satélite acabam, deste modo, por possuir muita informação redundante, o que pode influenciar significativamente os processamentos que se pretendem aplicar, especialmente do ponto de vista computacional.

A **análise em componentes principais (ACP)** é uma transformação utilizada para a compressão de um conjunto de dados originais (bandas de uma imagem digital) num conjunto menor, que traduz as características mais importantes desses dados (Brito, 2007c). Este método utiliza-se com o intuito de resumir o comportamento espectral de um grande conjunto de dados e redistribuí-los num espaço multidimensional, de eixos ortogonais entre si e sem correlação estatística, de forma a obter para cada eixo a máxima informação possível (*ibid.*).

A ACP baseia-se na realização de uma combinação linear ponderada das variáveis, passando estas a ser consideradas **componentes principais (PC)**. Estas componentes são vectores ortogonais entre si (num espaço n -dimensional, em que n designa o número de bandas) e orientados de acordo com a direcção de máxima variância (Vincent, 1997). Após o cálculo da covariância entre diferentes bandas, calculam-se os n vectores próprios da respectiva matriz (de dimensão $n \times n$); o valor próprio mais elevado e o respectivo vector indicam, então, a direcção de maior variância nos dados originais, que é tornada o primeiro eixo (PC_1); os eixos seguintes ($PC_{2...n}$) vão sendo calculados ortogonalmente e de tal modo que a sua direcção corresponde sempre à de maior variância restante, daí resultando que as imagens obtidas para cada eixo não possuem correlação matemática entre si (Sides *et al.*, 2000).

Assim, para cada eixo $PC_{1...n}$ obtêm-se diferentes imagens que discriminam, sucessivamente, aspectos particulares das imagens originais. Ao primeiro eixo (PC_1) está associada uma imagem que resume as principais características de toda a informação existente no conjunto das n bandas originais da imagem (Brito, 2007c). Os eixos mais elevados são úteis pois são o resultado de toda a informação singular que não se encontra correlacionada no conjunto das n bandas da imagem original (*ibid.*).

Na maior parte das aplicações em que se utiliza a ACP, apenas se utilizam as primeiras duas ou três componentes principais de uma imagem, já que nelas se concentra normalmente mais de 90% de informação da imagem original (Fonseca & Fernandes, 2004). Os mesmos autores ressaltam que, contudo, em alguns casos, até mesmo as últimas componentes podem conter informação relevante, dependendo do objectivo do estudo em causa.

Segundo Gupta (2003), esta é uma técnica que tem especial aplicabilidade quando se pretende melhorar os resultados da classificação de imagens.

A partir da aplicação da ACP podem criar-se composições RGB, fazendo corresponder diferentes eixos principais a cada uma das cores. Uma das grandes desvantagens deste método é a dificuldade em identificar as relações cor-objecto, ou seja, ao contrário das composições coloridas simples ou de rácios, neste caso particular, dado que a imagem processada é função única da distribuição dos valores de brilho da imagem original, torna-se difícil prever qual a cor que determinado objecto apresentará (Vincent, 1997; Prost, 2014). Por outro lado, as cores que as coberturas apresentam numa composição RGB variam de acordo com a imagem interpretada, pelo que eventuais conclusões baseadas na interpretação da cor não deverão ser extrapoladas para cenas diferentes (*ibid.*).

Rácios ou índices espectrais

Os rácios, quocientes ou índices espectrais são um processamento aritmético no qual o valor da reflectância de um *pixel* de determinada banda é dividido pelo seu homólogo, noutra banda (Prost, *op. cit.*). As imagens resultantes deste processo permitem o realce de características únicas nas bandas utilizadas, esbatendo todas aquelas que lhes são comuns. Assim, as principais vantagens da sua utilização incluem a supressão do efeito da topografia sobre a imagem, redução de variações na iluminação da imagem (sombras)

e o realce de contrastes entre materiais com curvas espectrais distintas (Gupta, 2003).

As principais desvantagens na utilização de rácios estão relacionadas com o aumento do ruído, realce de efeitos atmosféricos e realce indiscriminado de determinadas características, minimizando a capacidade de diferenciação entre alguns objectos (Sabins, 1997; Brito, 2007c).

A utilização de imagens resultantes da aplicação de rácios em composições RGB apresenta as vantagens de combinar a informação proveniente de mais do que duas bandas e de a apresentar sob a forma colorida (que é controlada pelo utilizador), facilitando a interpretação de contrastes espectrais mais subtis (Lillesand *et al.*, 2008).

Segundo Drury (1983), Gupta (2003) e van der Meer *et al.* (2012), entre os rácios mais utilizados em Geociências incluem-se:

(i) o rácio B6/B7 (*clay ratio*) é geralmente utilizado para distinguir materiais argilosos de não argilosos devido à elevada absorção dos minerais argilosos na B7 (presença de OH⁻) e às reflectâncias mais elevadas na B6;

(ii) o rácio B4/B2 (*iron oxide ratio*) permite distinguir materiais com e sem óxidos de ferro, sendo principalmente utilizado para detectar materiais que tenham sofrido alteração hidrotermal e cujos sulfuretos se encontram oxidados;

(iii) o rácio B6/B5 (*ferrous mineral ratios*) permite realçar minerais que contenham ferro;

(iv) o rácio B4/B5, para efectuar a distinção entre os afloramentos rochosos e o coberto vegetal;

(v) o rácio $(B5-B4)/(B5+B4)$, conhecido como **índice de vegetação da diferença normalizada** (NDVI), é utilizado para distinguir zonas com coberto vegetal ou não.

Métodos de classificação

Os métodos de classificação aplicam-se às imagens de observação da Terra com o objectivo de identificar áreas ou coberturas da superfície terrestre com base no reconhecimento do seu comportamento espectral, espacial ou temporal, segundo critérios (estatísticos, morfológicos, entre outros) de similitude ou afinidade das suas propriedades.

A classificação de imagens com base no padrão espectral baseia-se no agrupamento dos *píxeis* da imagem em conjuntos que representam, para cada cobertura, comportamentos idênticos de reflectância, nas diferentes regiões do espectro electromagnético. A utilização do padrão espacial considera as relações espaciais entre *píxeis* vizinhos, tais como a textura da imagem, proximidade dos *píxeis* e a dimensão, forma, direcção, repetição dos objectos (Brito, 2007d). Por fim, a classificação com base no padrão temporal baseia-se na identificação dos objectos de uma imagem através do reconhecimento de características que variam no tempo (*ibid.*).

Os métodos de classificação mais utilizados são: classificação **automática** e classificação **supervisionada**.

A **classificação automática** é exclusivamente baseada na análise dos dados estatísticos da imagem. Através dessa análise, automatizada por um algoritmo de classificação, os *píxeis* são agrupados estatisticamente, de acordo com semelhanças na resposta espectral. Assim, só no fim do processo de classificação é que o utilizador pode atribuir a cada classe criada uma determinada categoria. Apesar de este processamento ser automatizado, o utilizador pode ter algum controlo sobre os resultados, nomeadamente através da imposição de um limite para o número de classes a definir ou da utilização de alguns estatísticos «alvo». Um dos algoritmos de agrupamento de dados utilizado para a classificação automática é o *K-means*, que se baseia na repetição de iterações para

agregação dos *píxeis* até que não se verifiquem alterações significativas nas classes determinadas em iterações sucessivas (Schowengerdt, 2007).

A **classificação supervisionada** baseia-se no agrupamento de *píxeis* com base em áreas de treino previamente definidas. Ao contrário daquilo que sucede na classificação automática, a delimitação das áreas de treino requer o conhecimento prévio sobre a área a classificar. Estas áreas deverão ser tão homogêneas quanto possível (em termos de resposta espectral), no entanto deverão representar a variabilidade espectral da cobertura que representa a classe; tarefas estas que, por vezes se podem revelar um verdadeiro desafio (Schowengerdt, *op. cit.*). Assim, a cada área definida irá corresponder o padrão espectral típico da cobertura em análise, fazendo-se a classificação através da comparação entre os estatísticos das áreas de treino (média, variância, desvio padrão, matrizes de correlação, etc.) com os valores de cada *pixel*, sendo estes atribuídos à classe com as quais tem mais semelhanças, dependendo do classificador utilizado (Brito, 2007d).

No que se refere ao tipo de classificadores, Brito (2007d) destaca: a distância mínima ao valor médio da classe, o classificador do paralelepípedo, o classificador dos paralelepípedos múltiplos em escada e o classificador de máxima verosimilhança gaussiana. Este último analisa a probabilidade de um *pixel* pertencer a uma classe, considerando a distribuição dos valores de reflectância das áreas de treino como uma função densidade probabilidade. O classificador da máxima verosimilhança Gaussiana apresenta bons resultados a separar classes que se sobrepõem no espaço de projecção, muito embora dependa de custos computacionais relativamente elevados.

Dado que a classificação supervisionada se baseia no reconhecimento do padrão espectral das coberturas representadas pelas áreas de treino definidas, os resultados da classificação dependerão da sua correcta delimitação e representatividade.

Existem vários procedimentos que permitem avaliar a representatividade das áreas de treino utilizadas, desde a aferição no terreno das áreas de treino definidas, a representação simultânea dos histogramas das coberturas, a avaliação estatística da similitude/divergência dos valores médios das classes; a classificação automática das áreas de treino e avaliação dos resultados através da elaboração de matrizes de contingência, entre outros.

É frequente a utilização de **métodos híbridos de classificação**, que consistem na utilização dos resultados de uma classificação automática para o refinamento das áreas de treino e proceder posteriormente a uma classificação supervisionada.

3.1.4. Detecção remota e prospecção de recursos minerais metálicos

O facto de as mineralizações que se pretendem detectar serem raramente aflorantes, aliado às dificuldades técnicas na distinção espectral entre as rochas e os recursos que lhes estão associados, faz com que a aplicação da DR à prospecção de recursos minerais metálicos se exerça sobretudo através de uma abordagem indirecta (Vincent, 1997). Entre os indicadores geológicos mais comuns destacam-se: litologia, geomorfologia, estrutura, minerais de alteração, distribuição de determinadas espécies vegetais e respectivo *stress* (Kruse & Perry, 2014). De acordo com Drury (*op. cit.*), Sabins (2007) e Gupta (*op. cit.*), apresentam-se algumas considerações relativas a estes indicadores ou guias.

(1) **Guias estratigráficos ou litológicos** - estes guias são importantes no caso de recursos associados a determinadas idades ou litologias muito específicas, tais como são os casos do carvão, ferro, manganês, fosfatos, etc.

(2) **Guias geomorfológicos** – são particularmente importantes no caso de prospecção de depósitos minerais que tenham sido alvo de alteração e erosão; os depósitos

formados por enriquecimento supergénico podem ser identificados por critérios geomorfológicos como a existência de montes, cristas, planaltos ou vales; este tipo de critérios também permite definir possíveis locais para a ocorrência de depósitos do tipo *placer*.

(3) Guias estruturais – os controlos estruturais de uma ocorrência mineral podem ser abordados a diferentes escalas: a estrutura pode controlar a distribuição de províncias metalogénicas, a distribuição de áreas mineralizadas dentro da província metalogénica e a distribuição de ocorrências no interior dessas mesmas áreas; as principais dificuldades relacionadas com os guias estruturais prendem-se com o facto de estes poderem ser mal interpretados, ou seja, de poderem não ser de origem efectivamente estrutural, e com a impossibilidade de distinguir estruturas anteriores e posteriores à mineralização exclusivamente com base na DR.

(4) Guias relacionados com a alteração – muitos depósitos minerais estão associados à ocorrência de zonas de alteração, pelo que estas são um dos guias mais relevantes para a prospecção; são particularmente importantes no caso de depósitos hidrotermais devido aos minerais de alteração que ocorrem a eles associados (caulinite, montmorilonite, sericite, moscovite, biotite, clorite, epidoto, pirofilita, zeólitos, quartzo, albite, goethite, hematite, jarosite, hidróxidos metálicos, calcite e outros carbonatos, actinolite-tremolite, serpentinite e talco).

(5) Guias geobotânicos – a resposta espectral da vegetação é directamente controlada pelos solos/rochas em que se inserem; a presença de metais nos solos pode ser causa de *stress* sobre as plantas; as principais anomalias geobotânicas podem ser de tipo estrutural, taxonómico ou espectral; as anomalias estruturais estão relacionadas com alterações à morfologia da vegetação, tais como a densidade, alterações nas folhas, flores, frutos, etc.; os indicadores taxonómicos estão relacionados com a presença ou ausência de uma espécie específica; as diferenças espectrais estão relacionadas com as plantas em *stress*, que exibem ténues modificações relativamente à vegetação envolvente.

Uma vez que os principais critérios indirectos a utilizar na prospecção de recursos minerais metálicos têm associação inequívoca com o modo de ocorrência das mineralizações que se pretende encontrar, tem-se que a selecção das imagens e dos métodos e técnicas de DR mais adequados estará dependente de condições geológicas muito específicas. Assim, apesar de existirem alguns guias metodológicos gerais consoante as características geológicas que se pretendem evidenciar, dificilmente se poderá encontrar um único conjunto de técnicas de DR standardizadas cuja aplicabilidade e utilidade sejam transponíveis para áreas distintas. Caberá, pois, ao utilizador, a tarefa de seleccionar as metodologias mais adequadas e de testar a sua eficácia prática.

3.2. Lineamentos

3.2.1. Definição e terminologia

As terminologias e definições abundam quando se trata de discutir o conceito de **lineamento**. Muitas delas contradizem-se, outras repetem-se e em muitos casos criam-se novas definições que nada de novo adicionam. A este problema, já complexo, junta-se a questão da língua e da multiplicidade de traduções possíveis, quer dos termos correctos, quer dos incorrectos.

Vários termos têm sido erradamente utilizados como sinónimos de lineamento, daí resultando alguma confusão que tendeu a obscurecer o significado geológico do termo (Sabins, 1997). Assim, tal como outros autores fizeram anteriormente (Drury, 1993; Sabins, *op. cit.*), existe a necessidade de esclarecer alguma da terminologia.

Linear é um adjetivo que tem sido, por vezes, utilizado como substantivo, o que está gramaticalmente errado. Esta palavra, essencial para a descrição, deve ser utilizada apenas nesse sentido (Sabins, *op. cit.*).

Lineação é um termo geológico utilizado para definir estruturas lineares, integrantes do *fabric* de uma rocha, produzidas como resultado de deformação sofrida (tais como estrias, cristais alongados, etc.). Muitas vezes este termo tem sido utilizado como sinónimo de lineamento, o que está incorrecto do ponto de vista científico.

À própria palavra «lineamento» juntam-se, por vezes, alguns atributos, normalmente relacionados com o método utilizado ou o objectivo da detecção. Daqui resultam termos como «traço de fractura», «lineamento geológico», «lineamento fotointerpretado», «lineamento geofísico», etc. (Gomes, 2008). Estes termos acabam por se tornar redundantes quando tidas em conta as definições que se apresentarão a seguir.

Segundo Gupta (2003), foi Hobbs (1904) quem primeiro utilizou o termo **lineamento** para definir «*linha expressiva da paisagem que revela a arquitectura escondida do substrato rochoso*». O'Leary *et al.* (1976) reviram a utilização do termo e definiram lineamento, essencialmente do ponto de vista geomorfológico, como sendo «*uma característica linear de determinada superfície, simples ou composta, cartografável, cujas partes estão alinhadas de modo linear ou ligeiramente curvilíneo, e que difere substancialmente do padrão das áreas contíguas, presumivelmente reflectindo fenómenos subterrâneos*».

No seu Dicionário de Geologia, Galopim de Carvalho (2011) não inclui o termo «lineamento», muito embora faça corresponder às definições já apresentadas o termo **alinhamento**.

Sabins (*op. cit.*) afirma que as características lineares interpretadas em imagens de detecção remota recebem inicialmente a designação de lineamentos, sendo posteriormente, com a confirmação no campo, que estes podem ser classificados correctamente do ponto de vista geológico ou estrutural.

Segundo Scanvic (1997), o termo lineamento é perfeitamente adequado ao estudo estrutural de regiões com amplo coberto vegetal, onde a validação das estruturas pelos métodos convencionais de campo é mais difícil; já no caso de regiões áridas ou com afloramentos extensos, nas quais as estruturas são facilmente identificáveis e classificáveis, o termo lineamento acaba por ser pouco empregue.

Assim, neste trabalho, é utilizado o conceito de lineamento no seu sentido mais abrangente: estruturas lineares (rectilíneas ou ligeiramente curvas), identificáveis sobre a superfície terrestre, cartografáveis, reflectindo fenómenos geológicos.

Naturalmente, acabam por se incluir neste conceito estruturas com origens e significados geológicos tão distintos como falhas, zonas de cisalhamento, eixos de dobras,

diaclasses, filões e outras estruturas intrusivas, estratificação, etc. Existe, contudo, uma série de características que, podendo não ter significado geológico directo, podem reflectir a influência da estrutura geológica subjacente. Deste modo, alinhamento de cursos de água e de vales, alinhamentos topográficos (zonas deprimidas e zonas mais elevadas), características lineares identificadas sobre dados geofísicos (gravíticos, magnéticos, etc.), alinhamentos na vegetação, alinhamentos de nascentes naturais, etc., acabam, também, por poder ser identificados como lineamentos.

Como atrás se referiu e se perceberá ao longo desta dissertação, para a distinção dos diversos tipos de estruturas identificadas remotamente é essencial o reconhecimento no terreno e a conjugação de informação de diferentes fontes que não somente a detecção remota.

Escala e expressão dos lineamentos

O modo como ocorre um lineamento está dependente da escala de observação envolvida, sendo que lineamentos de determinada dimensão e características podem ser mais evidentes a uma escala particular (Gupta, 2003). O mesmo autor afirma ainda, que o padrão com o qual surge um lineamento é importante: se for muito linear, por exemplo, indica a existência de estruturas verticalizadas ou muito inclinadas, pelo que se estas se estenderão até maior profundidade.

Em qualquer tipo de imagem, podem encontrar-se lineamentos maiores e menores: os primeiros corresponderão a estruturas importantes, com grande expressão, tais como zonas de cisalhamento, falhas ou outros contactos tectónicos; os segundos, corresponderão a acidentes e estruturas mais discretos (falhas menores, diaclasses, estratificação) que, podendo não apresentar o impacto visual dos lineamentos maiores, acabam por definir a textura e o aspecto geral de toda a imagem.

Na Fig. 3.13 pode ver-se, em perfil e em planta, a expressão dos principais tipos de estruturas geológicas à superfície.

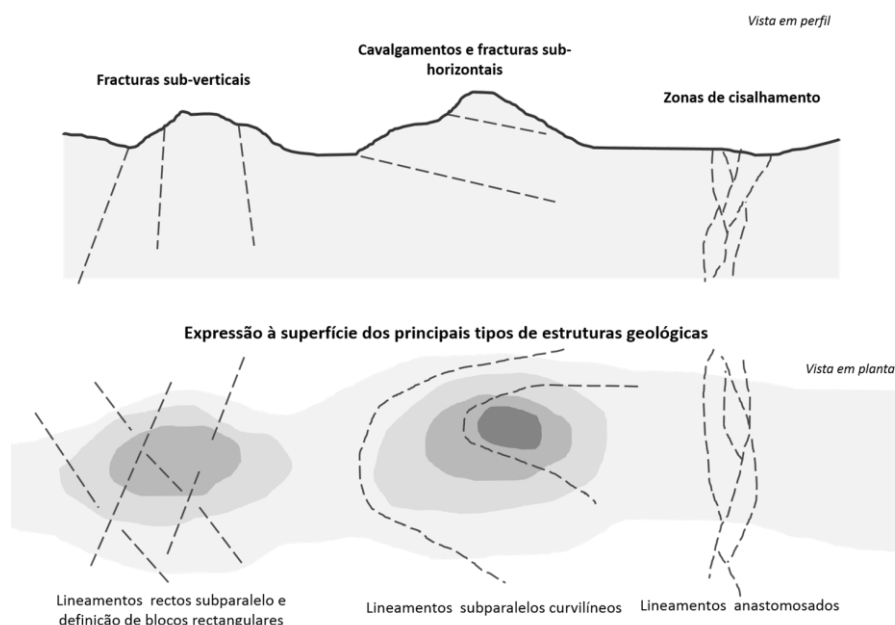


Fig. 3.13. Expressão à superfície dos principais tipos de estruturas geológicas (fonte: Ekneligoda & Henkel, 2010).

3.2.2. Os lineamentos e mineralizações

Mesmo tendo em conta a não existência de consenso em relação ao termo lineamento, a maioria dos geocientistas modernos concorda com o seu significado geológico e que estes reflectem, muitas vezes, fenómenos intra-crustais. Neste sentido, um lineamento estrutural tenderá a corresponder a zonas de maior deformação, mais ou menos frágeis, às quais estará associada elevada porosidade secundária, formando zonas preferenciais para a migração de fluidos (Meshkani *et al.*, 2013). Assim, os lineamentos podem constituir um importante guia para prospecção de depósitos minerais, de hidrocarbonetos, de água subterrânea e de possíveis fontes de energia geotérmica (Gupta, 2003).

Tal como Andrade (1983), sem o intuito de listar exaustivamente, nem com intenções de omitir outros trabalhos, é importante fazer referência a alguns estudos que incluem a abordagem à problemática dos lineamentos em Portugal e a sua possível relação com mineralizações: Neiva (1944) apresenta um mapa com os jazigos primários de cassiterite e de volframite, relacionando-os com eixos de metalização; Carvalho (1974) destaca a importância do reconhecimento de padrões de lineamentos e tenta correlacionar alguns destes padrões com a ocorrência de mineralizações; Derré (1982) identifica uma distribuição alternante entre Sn e W em bandas aproximadamente E-W no NW da Península Ibérica, referindo-se continuamente à importância dos lineamentos; Andrade (1983) tentou fazer a correlação entre estruturas lineares detectadas através de imagens de satélite e ocorrências minerais conhecidas, relevando a importância deste tipo de abordagens nos trabalhos de prospecção; por fim, Pereira *et al.* (1993) propõem a associação espacial de mineralizações de Sn-W, Au e U a cisalhamentos regionais, apresentando uma tentativa de hierarquização dessas mesmas mineralizações no contexto da geologia regional.

Do ponto de vista da Geologia Económica, os lineamentos são de grande interesse na medida em que a partir deles podem ser identificados metalotectos através da comparação com ocorrências conhecidas (Scanvic, 1997). Para isso, é necessário ter em conta alguns critérios para a sua descrição, tais como o comprimento, orientação, intersecção de lineamentos, espaçamento (*ibid.*).

Fica, portanto, demonstrado o interesse potencial que a identificação de lineamentos e a sua correlação com estruturas mineralizadas previamente reconhecidas apresenta, quer em campanhas de prospecção de recursos geológicos.

3.2.3. Identificação de lineamentos

Os lineamentos podem ser identificados através da interpretação visual ou, de forma alternativa, utilizando algoritmos de processamento digital para sua detecção automática ou semi-automática.

Métodos tradicionais

A identificação de lineamentos estruturais é tradicionalmente realizada de modo visual, sendo a sua marcação feita manualmente tendo uma imagem por base (Gupta, *op. cit.*; Masoud & Koike, 2006; Filho & Fonseca, 2009; Pinho, 2009). Esta é a técnica base da fotointerpretação clássica, sendo utilizada sobre imagens provenientes de sensores aeroespaciais ou outro tipo de imagens (*e. g.* provenientes de dados de altimetria, geofísica ou geoquímica).

A interpretação tanto pode ser efectuada sobre a imagem original, como sobre o resultado do seu processamento digital. Uma das influências modernas que esta técnica tem vindo a sofrer relaciona-se com o facto de os tradicionais suportes físicos (as fotografias

e mosaicos) terem vindo a ser preteridos pelas imagens em formato digital. Assim, para além de se poderem aplicar as técnicas de processamento de imagem digital, é possível o trabalho integrado em SIG, facilitando a georreferenciação, marcação dos lineamentos e a integração de informação de diferentes fontes.

Os métodos de interpretação visual requerem alguma intervenção pericial e têm directamente associada uma parte de subjectividade na medida em que a interpretação irá resultar sempre da experiência do autor. Estes métodos podem ser bastante morosos, especialmente no caso de estudos à escala regional. Para além do factor tempo, a esta metodologia também costuma surgir associada a repetitividade de tarefas (que, em último caso, pode influenciar a qualidade da interpretação).

Critérios visuais para a identificação de lineamentos

Os critérios para a identificação de lineamentos utilizados na interpretação visual são praticamente os mesmos da fotointerpretação. De seguida resumem-se os referidos critérios, com base nos trabalhos de Drury (1993), Lillesand *et al.* (2008), Pinho (2009) e Sinergeo & Universidade do Minho (2013).

Tom – refere-se à **cor** ou ao **brilho** de cada objecto presente numa imagem, sendo que, no caso de imagens a preto e branco, é expresso por diferentes tonalidades de cinzento. O **brilho** está unicamente relacionado com a energia que o objecto reflecte, dependendo sempre da fracção do espectro electromagnético que se está a avaliar. A **cor** de um objecto é apenas função da reflectividade selectiva dos objectos para diferentes comprimentos de onda, dependendo exclusivamente da conjugação de bandas utilizada nas composições coloridas. Sem as variações de tom seria impossível identificar formas, texturas e padrões. Uma vez que está directamente relacionado com as propriedades reflectoras dos objectos à superfície, o tom depende directamente da resolução espectral dos instrumentos utilizados. Uma vez que pode variar consoante as condições de iluminação e com a porção do espectro electromagnético que se está a detectar, não é o tom propriamente dito que é preponderante neste tipo de análise, mas sim os contrastes tonais entre objectos.

Textura – resulta da combinação entre a magnitude e a frequência de variação de cada tonalidade numa imagem, sendo produzida pelo efeito de agregação de todas as pequenas características que compõem a imagem e dependendo sempre da escala e resolução consideradas. É a textura que determina o aspecto geral de cada componente da imagem, podendo ser mais regular (suave) ou mais irregular (grosseira).

Padrão – o padrão resulta do arranjo espacial entre os diferentes tons e texturas que compõem uma imagem. Está directamente relacionado com a cobertura vegetal, topografia do terreno, características geológicas, construções antrópicas, etc.

Forma e tamanho – a **forma** refere-se à configuração de determinado objecto, podendo estar associada a um padrão conhecido. A forma permite distinguir objectos distintos, assim como reconhecer estruturas geológicas bem definidas. A identificação e interpretação de diferentes formas depende do observador e da sua experiência. O **tamanho**, embora seja relativo na medida em que depende da escala considerada, ajuda a complementar a identificação de uma dada cobertura.

Sombra – a sombra de um objecto pode ajudar a melhor compreender a sua forma, ajudando a interpretação. Objectos situados em zonas de sombra reflectem pouca luz, por isso serão difíceis de distinguir, dificultando a interpretação. A sombra pode ajudar perceber o relevo.

Contexto espacial – o modo como tons, texturas, padrões e formas são interpretados depende da sua localização relativamente a elementos vizinhos conhecidos e do grau de conhecimento relativo à região em estudo, pelo que o **contexto espacial** se pode revelar fulcral aquando da classificação de determinado objecto.

Com base nas obras de Scanvic (1997), Gupta (2003) e Pinho (2009), é, então, possível agrupar os diversos critérios para identificação de lineamentos: informação radiométrica, geometria e geologia. A informação radiométrica inclui o tom (cor, brilho e sombra) e textura. A geometria inclui a forma, tamanho, continuidade e contexto espacial do objecto identificado. Por fim, e não menos importante, nos critérios geológicos incluem-se a direcção do lineamento, paralelismo com outras estruturas, o contexto geológico, padrão (rede de drenagem) e morfologia do terreno. No Anexo II.A apresenta-se uma síntese dos critérios mais utilizados em fotointerpretação.

Nas imagens seguintes (Fig. 3.14 e Fig. 3.15) ilustram-se alguns exemplos de critérios utilizados na identificação de lineamentos.

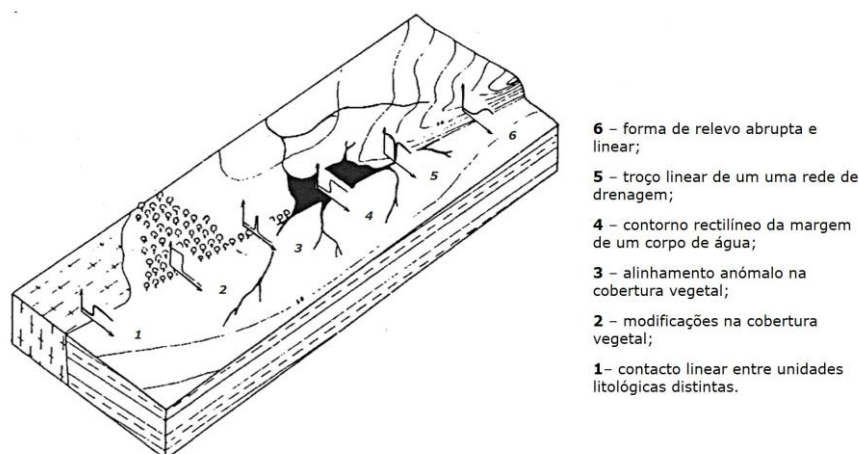
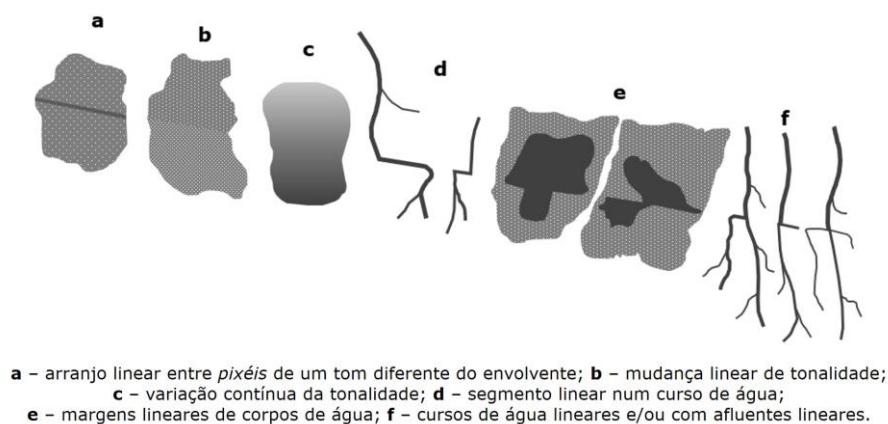


Fig. 3.14. Variações no sinal radiométrico ao longo de um lineamento.
(fonte: Scanvic, 1997).



a - arranjo linear entre *pixéis* de um tom diferente do envolvente; b - mudança linear de tonalidade;
c - variação contínua da tonalidade; d - segmento linear num curso de água;
e - margens lineares de corpos de água; f - cursos de água lineares e/ou com afluentes lineares.

Fig. 3.15. Alguns critérios de identificação de lineamentos
(segundo Rouzeau, 1989, in Scanvic, 1997).

Ferramentas de detecção automatizada

Com o desenvolvimento tecnológico das últimas duas décadas, especialmente no que toca ao domínio da informática e da programação computacional, têm vindo a surgir alternativas às metodologias tradicionais que pretendem superar os seus principais inconvenientes, especialmente os relacionados com o tempo e subjectividade (Masoud & Koike, 2006). Assim surgiram as ferramentas informáticas de detecção automatizada e semi-automatizada.

Os **modelos semi-automáticos** são mais semelhantes à interpretação manual uma vez que dependem, em parte, da experiência do analista (Bonetto *et al.*, 2015).

Os **métodos de detecção automática** de lineamentos estruturais baseiam-se quase exclusivamente na aplicação de técnicas realce através filtros espaciais e de filtros morfológicos (Argialas *et al.*, s.d. ; Masoud & Koike, 2006). Da utilização destas técnicas resultam mapas com contornos sobre os quais é realizado novo processamento, sendo necessária a introdução de valores para uma série de parâmetros (cujo número depende do algoritmo em causa) que irão permitir transformar os contornos detectados em segmentos com apenas um *pixel* de largura (Argialas *et al.*, *op. cit.*).

Um dos principais problemas destes métodos está relacionado com a frequente segmentação dos lineamentos identificados, comprometendo-se uma das principais características dos lineamentos estruturais que é o seu comprimento (Masoud & Koike, 2011). Segundo Vincent (1997), os métodos de detecção automática dão melhores resultados do que os tradicionais no que respeita à pesquisa por dados estatísticos na medida em que estes permitem determinar uma tendência geral da fracturação de uma dada área de modo relativamente expedito.

Apesar do incremento notório na utilização de algoritmos e ferramentas informáticas que possibilitam a detecção automatizada, diversos autores (Vincent, 1997; Gupta, 2003; Filho & Fonseca, 2009) ressaltam que a interpretação visual de lineamentos nunca deverá ser totalmente substituída pelos métodos automáticos: (i) devido à complexidade e variabilidade dos elementos em análise, que influenciam directamente a eficácia dos algoritmos de extracção; (ii) devido à quantidade de inteligência artificial necessária para separar as características lineares importantes de outras com menor ou mesmo sem qualquer significado geológico; (iii) devido à criação de artefactos artificiais, que podem surgir devido às condições de iluminação, topografia, sombras, etc., e que dificultam a interpretação.

Se, por um lado, os seres humanos apresentam limitações no que se refere à sua capacidade de avaliar padrões espectrais, por outro, os computadores encontram-se limitados no que se refere à avaliação de alguns tipos de padrões espaciais, em particular aqueles que costumam estar ligados à textura de uma imagem (Lillesand *et al.*, 2008). Estes autores concluem, então, que as técnicas visuais e numéricas são complementares, devendo-se ter sempre em conta qual é o tipo de abordagem (ou combinação de abordagens) que mais se adequa a cada caso específico.

3.2.4. Análise e classificação de lineamentos

Para uma correcta utilização da detecção remota na prospecção, existe a necessidade de avaliar os dados recolhidos e de os classificar através de ferramentas complementares. Um dos métodos mais eficazes trata-se da comparação (visual, estatística ou digital) dos mapas de lineamentos com a cartografia geológica existente, mapas tectónicos, levantamentos geofísicos e geoquímicos (Scanvic, 1997). Esta é uma abordagem multicritério e que facilita a avaliação da natureza e significado geológico dos lineamentos.

Scanvic (1997) adianta que sobreposição de padrões de lineamentos obtidos através de diferentes métodos de investigação pode ser utilizada para eliminar elementos sem correlação espacial e para definir um sistema de fracturação que pode ser considerado como representativo do meio. A análise multicritério permite, deste modo, o realce e selecção das estruturas mais importantes.

Análise estatística

Gupta (2003) indica que, pretendendo-se o tratamento estatístico dos lineamentos previamente identificados, estes deverão ser agrupados de acordo com a sua direcção (normalmente conjuntos de 10°). O método mais comum de representação dos lineamentos de acordo com a respectiva direcção são os **diagramas de roseta**, se bem que muitos autores também optem pela construção de histogramas. De acordo com diversos autores, é usual acompanhar os referidos diagramas com mapas dos lineamentos identificados filtrados de acordo com classes azimutais.

O mesmo autor sugere três formas simples para analisar estatisticamente a distribuição de lineamentos em determinada área: (i) uma delas passa por considerar o número de lineamentos por unidade de área; (ii) outra pela medição do comprimento total dos lineamentos por unidade de área [densidade]; (iii) uma terceira passa pela contagem do número de intersecções de lineamentos por unidade de área. Gupta (*op. cit.*) considera o terceiro método como sendo geralmente mais rápido e conveniente, muito embora as actuais ferramentas SIG permitam que qualquer uma das três abordagens de realize de forma expedita.

A avaliação do comprimento dos lineamentos também pode permitir obter conclusões importantes, sendo prática corrente a apresentação dos resultados sob a forma de histogramas ou diagramas de dispersão. Na prática, o comprimento mínimo dos lineamentos identificados deve ser restringido de acordo com máxima ampliação das imagens, que é limitada pela resolução espacial proporcionada pelo sensor (Pinho, 2009). Segundo Ekneligoda & Henkel (2010) o comprimento dos lineamentos é melhor representado pela sua moda uma vez que é comum a presença de valores anómalos, tanto mais elevados, como mais reduzidos. Estes valores anómalos (*length outliers*) poderão indicar a presença de estruturas de origem antrópica, especialmente para comprimentos inferiores a 500m (Gomes, 2008). Por outro lado, lineamentos exageradamente longos (>10km) deverão, também, ser reavaliados uma vez que poderão não estar a representar fenómenos naturais.

Uma outra característica que poderá ser importante é o **espaçamento** entre lineamentos pertencentes à mesma classe azimutal, ou seja, a distância medida perpendicularmente entre lineamentos de direcção semelhante.

3.3. Estruturas circulares

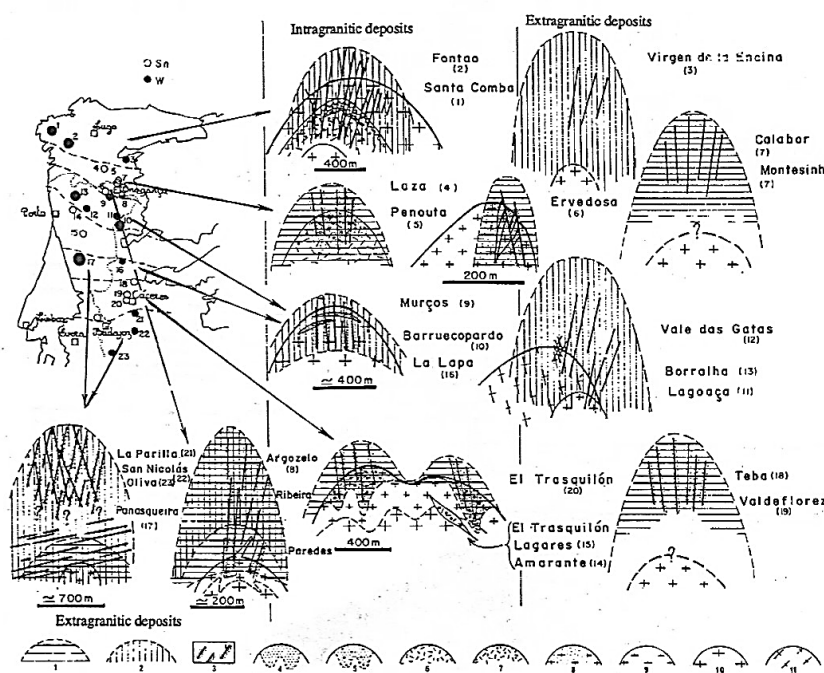
Devido à perspectiva sinóptica que possibilitam e à grande área que permitem cobrir, os métodos de detecção remota têm sido fundamentais na descoberta de diversas estruturas circulares na superfície terrestre (Scanvic, 1997). Estas descobertas têm sido alvo de alguma discussão especialmente no que se refere à sua origem. Excluindo da presente discussão as estruturas circulares de origem antrópica, cuja importância não deve ser, no entanto, descurada, são diversos os fenómenos geológicos e geomorfológicos que podem estar na origem de estruturas circulares.

Um dos tipos de estruturas circulares mais característico são as **crateras** provocadas por impactos de corpos celestes. Estas estruturas são marcadas por uma distribuição aleatória na superfície terrestre, variando essencialmente nas dimensões, mas mantendo a morfologia geral aproximadamente semelhante. Há diversos autores que defendem uma estreita ligação entre a queda destes corpos e o enriquecimento da crosta terrestre em determinados elementos (Andrade, 1983; Scanvic, *op. cit.*).

As estruturas relacionadas com **aparelhos vulcânicos** são também aqui incluídas. Quer os cones vulcânicos, quer as caldeiras, são estruturas com expressão morfológica muito típica e de características únicas, ocorrendo, normalmente, em pequenos aglomerados (Gupta, 2003). A identificação destas estruturas pode ser importante quer do ponto de vista dos recursos geológicos (elementos metálicos e geotermia), quer do ponto de vista da segurança de populações e ordenamento do território.

Especialmente importantes no contexto da Geologia do Petróleo e pelo seu interesse enquanto recurso explorável, há que referir os **domas salinos**.

Por fim, são de mencionar as estruturas circulares associadas a **intrusões magmáticas** (essencialmente granitóides). Destas podem resultar estruturas aflorantes com características geológicas e geomorfológicas muito próprias, como por exemplo os montes-ilha (*inselbergs*). Por outro lado, também se conhecem casos em que cúpulas graníticas não aflorantes são identificadas por estruturas circulares à superfície: tal é o caso da Panasqueira. Na Fig. 3.16 podem ver-se alguns exemplos de mineralizações estano-volframíticas associadas a cúpulas graníticas.



- 1 – zona de influência hidrotermal com predomínio de mineralização de Sn; 2 – zona de influência hidrotermal com predomínio de mineralização de W; 3 – filões com moscovitização e/ou turmalinização nas zonas de contacto; 4 – granito greisenizado; 5 – granito greisenizado com cassiterite ou volframite disseminada; 6 – leucogranito com albite; 7 – leucogranito com albite e cassiterite ou volframite disseminada; 8 – leucogranito moscovitizado; 9 – leucogranito com albite e duas micas; 10 – granito ou adamalito com duas micas; 11 – granito orientado.

Outras estruturas geológicas de secção circular ou semi-circular podem indicar importantes tipos de depósitos: pórfiros, chaminés kimberlíticas, carbonatitos, sienitos nefelínicos, filões de rochas ultra-básicas e, embora com menor expressão, alguns depósitos de sulfuretos maciços (Scanvic, 1997).

Actualmente a detecção remota é a ferramenta mais universal utilizada no estudo de estruturas circulares, sendo que a sua identificação poder ser realizada através das mesmas metodologias e critérios semelhantes aos utilizados para o caso dos lineamentos. Há que ter sempre em conta, no entanto, que a sua origem pode ser muito variada, sendo que quando a sua fonte não é aflorante, a sua identificação pode não ser consensual e resultar da subjectividade do autor. É, assim, preferível, integrar sempre a informação de diferentes fontes, tais como a geoquímica, a geofísica ou os dados recolhidos através de radar ou imagens térmicas (Scanvic, 1997).

A procura de estruturas circulares no âmbito deste trabalho é essencialmente justificada na medida em que podem indicar a existência de cúpulas graníticas não aflorantes. Tendo em conta o contexto geotectónico regional, assim como a proximidade da área de prospecção e pesquisa da Escádia Grande à Panasqueira, onde, como se disse, este tipo de estruturas já foi identificado e associado a importantes mineralizações, ficam por demais evidentes os motivos que levam à inclusão da sua busca no presente trabalho.

Andrade & Conde (1976)⁴ e Andrade (1983), através da análise de imagens de satélite (Landsat 1 e 2), identificam diversas estruturas circulares em Portugal continental (respectivamente, Fig. 3.17 e Anexo II.B). Das estruturas identificadas, os autores afirmam que aquelas situadas em terrenos do SGDB estão eventualmente relacionadas com cúpulas graníticas encobertas.



Andrade & Conde (1976)

Fig. 3.17. Estruturas circulares identificadas por Andrade & Conde (1976) (in Goinhas & Viegas, 1983).

⁴ In Goinhas & Viegas (1983)

3.4. Métodos geofísicos

Os métodos de **prospecção geofísica** baseiam-se na medição de propriedades físicas dos materiais geológicos. Os levantamentos geofísicos podem ser realizados com recurso a plataformas aéreas ou no terreno, sendo que estes últimos podem apresentar limitações relativamente à acessibilidade dos locais a pesquisar, sendo mais morosos nos casos de necessidade de cobrir grandes áreas. A recolha de dados geofísicos através de plataformas aeroespaciais é, então, um método rápido, eficiente e rentável de obter dados sobre áreas de grandes dimensões (Milsom, 2006).

De certa forma, os métodos geofísicos podem ser vistos como pertencentes ao grupo das ferramentas de detecção remota. De facto, comparando as definições mais aceites, a detecção remota e a geofísica partilham as mesmas bases: ambos consistem na medição, a distâncias variáveis, de determinado sinal físico, cujo alcance é também variável, e que permite caracterizar e distinguir diferentes elementos no terreno.

Os métodos geofísicos podem classificar-se quanto ao modo de operação, distinguindo-se entre **métodos activos** e **passivos**. No primeiro caso, os métodos geofísicos medem a resposta obtida a um qualquer impulso imposto artificialmente, enquanto no segundo se limitam a medir emissões naturais. Nos métodos passivos incluem-se as medições magnéticas, gravíticas, radiométricas e de campos eléctricos de origem natural. Todos os restantes métodos eléctricos e electromagnéticos que necessitam de um campo induzido, assim como os métodos sísmicos e alguns métodos que utilizam fontes emissoras de radioactividade, são considerados como activos.

O principal objectivo da utilização da geofísica na prospecção de recursos geológicos é a reconhecimento de contrastes entre as propriedades medidas. Estes contrastes permitem a identificação de **anomalias geofísicas**, ou seja, de um determinado «objecto» cujas propriedades diferem do terreno contíguo. Idealmente, uma anomalia deveria indicar directamente a localização do recurso de interesse económico, contudo, o facto de existir um forte contraste entre os materiais geológicos e a mineralização nem sempre garante a existência de uma anomalia geofísica (Milsom, 2006).

Prost (2014) faz uma síntese muito completa e actualizada sobre os sistemas e sensores associados aos métodos geofísicos actualmente utilizados em plataformas aeroespaciais.

Uma vez que neste trabalho foram utilizados dados de radiometria, de seguida tecer-se-ão algumas considerações sobre o funcionamento destes métodos e a sua aplicabilidade.

3.4.1. Radiometria

Os métodos radiométricos baseiam-se na medição da radiação natural emitida pelo decaimento radioactivo dos elementos químicos presentes nos materiais geológicos. Das emissões associadas ao decaimento radioactivo (partículas alfa, beta e **radiação gama**), apenas as últimas possuem energia suficiente para atravessar material rochoso e ser detectadas à superfície (Milsom, 2006). Contudo, mesmo a radiação gama, cujos comprimentos de onda são da ordem de 10^{-11} m ou inferiores, apenas consegue atravessar um a dois metros de matéria sólida, pelo que a informação que fornece é praticamente superficial (Marjoribanks, 2010). Deste modo, a sua medição terá sempre de ser feita no terreno ou em voos de muito baixa altitude, isto é, até 100 a 150 m de altitude (Gupta, 2003; Prost, 2014).

Medição de radiação gama

Praticamente todos os solos e rochas podem ser considerados, até certo ponto, radioactivos, todavia os elementos cujos radionuclídeos têm abundância de radiação gama mais significativa são: urânio (ppm), tório (ppm) e potássio (%). O potássio é proveniente do decaimento radioactivo do isótopo ^{40}K ; o ^{238}U , que é o primeiro na cadeia de decaimento que atinge estabilidade com o descendente ^{206}Pb , não emite radiação gama, sendo esta medida no ^{214}Bi ; por fim, o ^{232}Th , que é o primeiro na cadeia de decaimento que termina no ^{208}Pb , tal como no caso do urânio, não emite radiação gama, sendo esta medida no seu descendente mais energético ^{208}Tl (Batista *et al.*, 2013). Prost (2014) alerta para o facto de nem toda a radiação gama poder ter origem nos processos de decaimento dos elementos referidos, apontando a origem cósmica da radiação como uma importante fonte secundária.

A intensidade da radiação emitida pode ser medida através de contadores de Geiger, cintilómetros e espectrómetros. Enquanto os dois primeiros instrumentos fornecem apenas o total de radiação medido, com os espectrómetros é possível quantificar a energia e, deste modo, identificar o isótopo cujo decaimento esteve na sua origem. Drury (1993) e Milsom (2006) abordam de forma mais ou menos detalhada alguns dos principais problemas relacionados com a aquisição de dados de radiometria e as maiores dificuldades relativas ao seu processamento.

A utilização de espectrómetros tem especial interesse porque estes possibilitam avaliar as proporções entre isótopos (U/Th, U/K e Th/K). Segundo Milsom (2006) e Prost (2014), alterações a estas proporções estão normalmente associadas a variações bruscas na litologia, permitem distinguir zonas de alterações em rochas ígneas ácidas a intermédias, possibilitam a detecção de mineralizações primárias e supergénicas, assim como de formações ricas em fosfatos e de depósitos do tipo *placer*.

Interesse da radiometria na prospecção

De acordo com Griffiths & King (1981), a única forma de material radioactivo a mais de 2 m de profundidade poder corresponder a picos elevados de radiação gama à superfície está relacionada com a geração do gás radão e com a sua ascensão. Os mesmos autores avançam, ainda, que um decréscimo da radiação medida poderá estar mais facilmente associado a um aumento do recobrimento do que a mudanças no maciço rochoso propriamente dito; do mesmo modo, a medição de valores elevados pode não estar directamente associada à presença de elementos radioactivos, mas sim indicar uma zona onde o maciço rochoso se encontra mais fracturado, facilitando a migração de radão até à superfície.

O K^{40} é o isótopo radioactivo mais comum da crosta terrestre, estando normalmente incorporado na estrutura dos feldspatos potássicos (ortoclase). Uma vez que a maior parte da radiação natural tem origem no potássio, os mapas de radiação total são uma ferramenta muito eficaz na identificação de rochas ígneas alcalinas (ou seja, de composição granítica) e de rochas sedimentares ou sedimentos a elas associados, como é o caso das arcoses.

O tório pode ser encontrado na monazite, mineral acessório de alguns granitos e pegmatitos. A monazite forma, muitas vezes, minerais detríticos pesados que se acumulam ao longo das margens de cursos de água.

Embora seja um elemento raro, a presença de urânio, mesmo que em diminutas quantidades, pode indicar granitos muito fracturados ou xistos negros.

Segundo Milsom (2006) a composição RGB com imagens de radiometria de proporções entre isótopos tem especial utilização na identificação de diferentes litologias ou composições químicas, permitindo fazer a distinção entre alguns tipos de granitos.

3.5. Altimetria e Modelo Digital de Elevação

3.5.1. Modelo Digital de Elevação

O **Modelo Digital de Elevação (MDE)** é um método que permite a representação simplificada da superfície topográfica real. Este é representado por uma malha contínua e regularmente espaçada (*grid*) na qual, a cada célula, corresponde um único valor de elevação (Meshkani *et al.*, 2013).

Para a construção de um MDE, independentemente do método adoptado, é sempre necessária a propagação dos valores de altitude conhecidos para a toda a região que se pretende modelar (quer estes correspondam a pontos cotados ou curvas de nível). Essa propagação é realizada por meio de métodos de interpolação.

Triangulated Irregular Network (TIN), conhecida em português como RIT (Rede Irregular Triangulada) ou RTI (Rede Triangular Irregular), são os nomes atribuídos a uma superfície gerada pela interpolação dos valores de altitude a partir da criação de superfícies triangulares planas e de diferentes dimensões. Note-se que a criação dos triângulos adjacentes depende do método adoptado, não sendo, por isso, única.

Um TIN já é uma representação digital da superfície, pelo que pode ser considerado um MDE. Contudo, uma vez que este tipo de ficheiros se encontra no formato vectorial e devido à maior complexidade de armazenamento dos dados, comparativamente a uma *grid*, o seu processamento acaba por se tornar pouco eficiente e computacionalmente mais pesado. Atendendo que este tipo de ficheiro é tipicamente utilizado para a modelação de alta resolução de áreas relativamente pequenas (tal como no caso de obras de engenharia, que necessitam de uma escala de grande detalhe), a sua transformação para um modelo do tipo matricial acarreta vantagens quando se pretende modelar áreas extensas.

A precisão de um MDE é principalmente determinada pela sua resolução espacial, isto é, a distância entre os pontos amostrados. Assim, no caso da utilização de curvas de nível como informação de partida, a precisão do MDE irá depender essencialmente da equidistância entre as mesmas.

3.5.2. Mapa de relevo sombreado

Os mapas de relevo sombreado, na literatura anglo-saxónica conhecidos por *shaded relief model*, *shaded relief* ou *analytical hill shading*, são imagens obtidas com base num MDE, a partir simulação da iluminação artificial em determinada posição (Gupta, 2003). Os principais factores que influenciam o resultado final são os parâmetros que definem a simulação da iluminação: azimuth (directção angular da fonte de iluminação) e altitude ou elevação solar (ângulo de incidência dos raios solares sobre a superfície).

A cada *pixel* da imagem gerada, correspondente a uma porção da superfície do terreno, é atribuída determinada tonalidade de cinzento, função do ângulo entre o vector iluminação e a superfície do terreno (Masoud & Koike, 2006). Assim, as áreas aplanadas irão surgir com tonalidades mais ou menos uniformes, as superfícies orientadas para a fonte de iluminação irão surgir mais claras e aquelas «na sombra», irão surgir mais escuras (Lillesand *et al.*, 2008).

Este tipo de mapas, de acordo com Gupta (2003), englobam o conjunto de métodos que permite a visualização a 2,5-dimensões, ou seja, permite a percepção da terceira dimensão, não correspondendo a uma verdadeira visualização tridimensional, mas ultrapassando a simples visão a duas dimensões.

Lillesand *et al.* (*op. cit.*) afirmam que os mapas de relevo sombreado são de interpretação mais intuitiva quando a fonte de iluminação artificial está virada para o observador (quando a sombra «cai» na directção do observador). De outro modo, não se

tendo a percepção de relevo que a visão estereoscópica possibilita, um utilizador menos experiente tenderá a observar a topografia invertida, surgindo as linhas de cumeada como vales, e vice-versa.

Uma vez que este tipo de mapas utiliza apenas dados altimétricos como base, não incluindo quaisquer tipos de cobertura vegetal ou de construções antrópicas, que, de outro modo, interfeririam na interpretação, os mapas de relevo sombreado acabam por revelar maioritariamente os efeitos que o substrato geológico imprime sobre a morfologia do terreno, possibilitando o reconhecimento das estruturas geológicas subjacentes, de contactos litológicos contrastantes e a caracterização da rede de drenagem (Cirés *et al.*, 1997; Roldan *et al.*, 2010). Masoud & Koike (2006) afirmam que, embora as imagens de relevo sombreado sejam uma excelente técnica para o realce de características lineares, o seu destaque ou esbatimento depende directamente da direcção de iluminação escolhida. Este problema acaba por ser facilmente ultrapassado através da criação de mapas de relevo com diferentes direcções de iluminação, possibilitando a identificação de estruturas que se orientem linearmente em qualquer direcção. Este tipo de solução acarreta, contudo, a multiplicação do número de análises a realizar.

Cirés *et al.* (*op. cit.*) destacam os modelos digitais de terreno e produtos seus derivados como a forma mais útil de representar informação geológica quando a morfologia do terreno evidencia uma relação directa com o substrato rochoso. Os mesmos autores adiantam, ainda, que este tipo de modelos poderá possibilitar o melhoramento da cartografia geológica já publicada na medida em que permitem detectar contactos litológicos ou tectónicos que podem passar despercebidos se utilizados apenas os métodos de cartografia convencionais.

4. Metodologia aplicada

Tendo, no Capítulo 1, sido apresentada a metodologia geral adoptada nesta dissertação, no presente capítulo é feita a descrição pormenorizada das quatro etapas implementadas. Todos os resultados e comentários à metodologia empregue são apresentados no Capítulo 5.

4.1. Etapa 1 – Levantamento e interpretação de dados

Tal como se referiu no Capítulo 3, o facto de ser difícil encontrar um único conjunto de técnicas de DR cuja aplicabilidade possa ser transposta sem perda de significado para diferentes áreas de estudo, faz com que seja sempre necessário testar a eficácia prática de todos os métodos que se pretendem executar. Torna-se, pois, essencial, recolher o máximo de informação sobre a região a avaliar, o que possibilitará a selecção das metodologias mais apropriadas às especificidades de cada caso.

Uma vez que a adequada aplicação dos métodos de detecção remota à prospecção de minerais metálicos, assim como a selecção dos materiais mais apropriados para o efeito, dependem fundamentalmente da origem e formação dos jazigos em causa, é fundamental a análise prévia da região que se pretende estudar. Assim a **Etapa 1** consistiu no levantamento e interpretação dos dados geológicos e geomorfológicos existentes com o intuito de delimitar a área de estudo e seleccionar os materiais a utilizar.

Para além da consulta bibliográfica de publicações científicas e de relatórios técnicos relativos às campanhas de prospecção e exploração na área em estudo, foi realizado o levantamento e análise das principais ocorrências minerais da região.

Sendo o principal interesse do presente trabalho as mineralizações primárias, tanto de Sn-W, como de Au-Ag, e tendo em consideração que estas ocorrências são maioritariamente filonianas ou estão associadas a zonas de cisalhamento, tem-se que os guias geológicos mais adequados à detecção de elementos a elas associados são os controlos estruturais e as zonas de alteração hidrotermal. Deste modo, os principais elementos a detectar serão lineamentos e zonas alteradas/contrastes litológicos.

Realizado o levantamento e interpretada a informação recolhida, procedeu-se à delimitação da área de estudo e seleccionaram-se os materiais a utilizar.

4.1.1. Materiais utilizados

Software

Para a realização desta dissertação foram utilizados os seguintes *softwares*: IDRISI Selva®, Geomatica 2015®, Microsoft Excel®, ArcGIS® e GEOrient®.

Imagem de satélite

Tabela 4.1. Principais características da imagem de satélite utilizada

Satélite	Landsat 8 (OLI/TIRS)
Cena	LC82040322014302LGN00
Data	29 de Outubro de 2014
Qualidade	9/9
Cobertura de nuvens	0,33/100
Ângulo de elevação solar	34,4°
Azimute solar	161,3°
Nível de correcção	L1T

Na Tabela 4.1 apresentam-se as principais características da imagem de satélite utilizada, que se encontra disponível gratuitamente em: earthexplorer.usgs.gov. Esta cena foi especificamente escolhida devido à actualidade, à sua qualidade, praticamente sem a existência de nuvens em toda a sua extensão, e devido ao relativo baixo ângulo de incidência dos raios solares que, segundo Rabaça *et al.* (2004), permite obter melhores resultados no caso de estudos de geologia estrutural. Da cena original, com cerca de 33.300km², foi seleccionada uma área de 6.400km², posteriormente reduzida às dimensões da área de estudo.

Dados de altimetria

O suporte topográfico utilizado (curvas de nível) teve por base oito Cartas Militares à escala 1/25 000, tal como se apresenta na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Cartas militares utilizadas.

Cartografia Militar (1/25 000)	
242 - Foz de Arouce (Lousã)	264 – Castanheira de Pêra
243 - Góis	265 - Madeirã (Oleiros)
252 – Lousã	276 - Figueiró-dos-Vinhos
253 - Pampilhosa da Serra	277 - Troviscal (Sertã)

Dados de geofísica (radiometria)

Os dados de radiometria empregues neste trabalho, já devidamente processados, pertencem à Carta Radiométrica de Portugal Continental, produzida pelo LNEG (Batista *et al.*, 2013). O excerto utilizado tem por base cerca de mil e quinhentas medições de radiação gama total, dispersas de forma irregular mas aproximadamente homogénea, sobre a região abrangida pelo presente estudo.

Cartografia geológica e estrutural

Os dados de cartografia geológica e estrutural são provenientes da Folha 19-D (Coimbra – Lousã) da Carta Geológica de Portugal à escala 1/50 000, da Carta Geológica de Portugal à escala 1/500 000 e dos trabalhos de fotointerpretação de Andrade (1985) e dos esboços geológicos da região de Góis de Meireles *et al.* (2013). A georreferenciação das mineralizações conhecidas foi cedida pela EDM, S.A.

4.2. Etapa 2 – Processamento digital

Esta etapa teve como objectivo a definição e aplicação das ferramentas de processamento digital mais adequadas à identificação de características geológicas com possível associação às mineralizações de interesse. Assim, para além de terem sido aplicadas técnicas com vista à identificação de contrastes litológicos, procurou-se utilizar métodos que permitissem a detecção de aspectos estruturais (lineamentos e estruturas circulares).

O conjunto de procedimentos adoptados encontra-se esquematizado na Fig. 4.1.

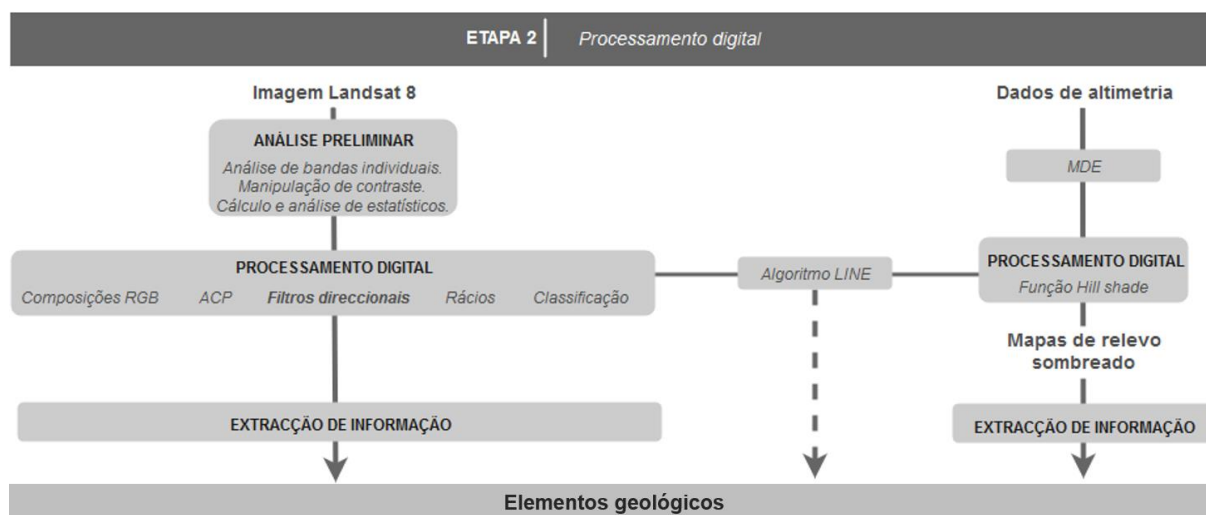


Fig. 4.1. Etapa 2 – Processamento digital.

4.2.1. Processamento digital da imagem de satélite

O processamento da imagem de satélite, assim como a interpretação de lineamentos correspondente a esta etapa, foram realizados no *software* IDRISI Selva®. Uma vez que a cena Landsat 8 utilizada possui correcção de nível 1T (*Standard Terrain Correction*), apresentando não só correcção geométrica e radiométrica, como georreferenciação prévia, não foram aplicadas técnicas de pré-processamento.

Composições RGB

Calculado o OIF através da Equação 3.4, foram realizadas e testadas diversas composições RGB *false colour*, das quais as seguintes foram utilizadas: 6-5-10, 5-7-11, 5-8-10 e 7-5-2. Adicionalmente, foi também realizada a composição *true colour* (4-3-2, vide Anexo III.A). Em todas as composições realizadas, o contraste foi ajustado multi-linearmente para 99% do respectivo histograma.

ACP

Foi realizada ACP sobre a imagem de satélite da região em estudo tendo sido devidamente avaliados todos os eixos (PC_n) resultantes e respectivas percentagens de explicação.

Rácios

Foram aplicados todos os rácios referidos em 3.1.3. ($B7/B6$, $B4/B2$, $B4/B5$ e $(B5-B4)/(B5+B4)$) e testados vários rácios entre bandas únicas ($B4/B6$ e $B6/B4$; $B6/B7$ e $B7/B6$; $B10/B11$ e $B11/B10$).

Classificação

Foram realizadas diversas classificações automáticas e supervisionadas, sobre a imagem de satélite da área de estudo, escolhendo-se diversos conjuntos de bandas espectrais.

Filtros espaciais

Os filtros direccionais de alta frequência foram os que apresentaram melhores resultados na identificação de características geológicas (lineamentos). Como tal, foram utilizadas as matrizes direccionais N-S, W-E, NW-SE e NE-SW, como se ilustra na Fig. 4.2. Estes filtros foram aplicados sobre as seguintes imagens: B6; rácios B4/B6 e B6/B4, B6/B7 e B7/B6, B10/B11 e B11/B10.

N-S			W-E			NW-SE			NE-SW		
-1	-1	-1	-1	0	1	-1	-1	0	0	-1	-1
0	0	0	-1	0	1	-1	0	1	1	0	-1
1	1	1	-1	0	1	0	1	1	1	1	0

Fig. 4.2. Filtros espaciais utilizados.

Identificação de lineamentos

A identificação pericial de lineamentos foi realizada sobre: (1) composições RGB 4-3-2, 6-5-10, 5-7-11, 5-8-10 e 7-5-2; (2) imagens resultantes da aplicação dos filtros direccionais sobre B6; (3) imagens resultantes da aplicação dos filtros direccionais sobre diferentes rácios.

Para além da identificação manual de lineamentos, foi utilizado o *software* Geomatica 2015® para a detecção automatizada. O algoritmo LINE é baseado em seis parâmetros numéricos de entrada, a definir pelo utilizador: RADI (dimensão do filtro gaussiano utilizado para o realce dos elementos lineares), GTHR (limite para a detecção de elementos lineares), LTHR (limite para o comprimento das curvas), FTHR (tolerância do número de segmentos rectos a atribuir a um lineamento curvilíneo), ATHR (limite da diferença angular) e DTHR (limite para a distância de ligação entre segmentos de recta) (Koçal, 2004). Os valores destes parâmetros foram testados com base em Koçal (*op. cit.*), Koçal *et al.* (2004), Abdullah *et al.* (2010), Abdullah *et al.* (2013) e Thannoun (2013) tendo também sido testadas variações dos mesmos. A extracção automática de lineamentos sobre a imagem de satélite foi exclusivamente efectuada sobre a B6.

4.2.2. Processamento dos dados de altimetria

O processamento dos dados de altimetria e posterior interpretação pericial foram exclusivamente realizados no *software* ArcGIS®.

Criação do MDE

Para a criação do MDE foi necessário unir os dados de altimetria de todas as cartas militares (exclusivamente curvas de nível) num único ficheiro. Unidos os dados, foi criado o respectivo TIN (Anexo III.B). Este ficheiro, originalmente em formato vectorial, foi convertido para o formato matricial, com a resolução espacial de 10m (correspondente à equidistância entre as curvas de nível), obtendo-se o MDE (Anexo III.C).

Mapas de relevo sombreado

Com base no MDE criado, recorreu-se à função *Hillshade* do *software* para construir os mapas de relevo sombreado. Estes mapas foram criados com uma sobrelevação de 2x com o objectivo de realçar os efeitos da topografia, o ângulo de incidência solar foi

considerado como sendo de 45° e foram realizados diferentes mapas para vários azimutes solares: 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225° e 270°.

Identificação de lineamentos sobre a imagem de relevo sombreado

Numa primeira fase procedeu-se à marcação manual dos lineamentos sobre os diferentes mapas impressos. Identificados analogicamente os lineamentos principais, seguiu-se a digitalização detalhada em ambiente SIG, unindo-se as interpretações correspondentes a diferentes azimutes solares. A escala máxima de ampliação durante as interpretações foi 1/25.000, correspondente à escala dos dados originais.

Às imagens de relevo sombreado foram sobrepostas as linhas de água em formato digital (também provenientes da cartografia militar referida), possibilitando a identificação de lineamentos através dos critérios fotogeológicos aplicados às redes de drenagem.

Tal como no caso da identificação de lineamentos sobre as imagens de satélite, foi utilizado o algoritmo LINE do *software* Geomatica 2015® para a identificação automática de lineamentos nas imagens de relevo sombreado.

4.3. Etapa 3 – Validação e reinterpretação

Esta última etapa, esquematizada na Fig. 4.3, teve como objectivo dar continuidade à etapa precedente, avaliando os dados aí obtidos, efectuando a respectiva validação no terreno. A informação obtida foi reavaliada e corrigida, obtendo-se mapas finais com os resultados da avaliação das imagens processadas. A última fase consistiu na integração a informação obtida com o intuito de seleccionar áreas para possível desenvolvimento de trabalhos de prospecção detalhada.

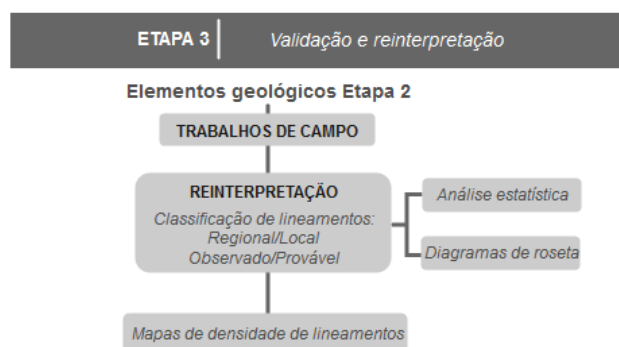


Fig. 4.3. Etapa 3 – Validação e reinterpretação.

4.3.1. Trabalhos de campo

Tendo como propósito a verificação dos resultados preliminares obtidos a partir do processamento de imagens digitais e de reconhecer elementos geológicos detectados remotamente, foram efectuados trabalhos de campo. Devido a constrangimentos de índole prática, dos quais se destacam a dimensão da área em estudo, acessibilidades e constrangimentos temporais, os trabalhos de campo, levados a cabo em Maio e Julho de 2015, foram restringidos à área de prospecção e pesquisa de Escádia Grande.

4.3.2. Reinterpretação e fusão de lineamentos

A reinterpretação dos lineamentos obtidos através dos processamentos descritos anteriormente foi realizada no *software* ArcGIS®. Com esta tarefa pretendeu-se melhorar

substancialmente a qualidade das interpretações preliminares. Nesta fase foi possível utilizar como base imagens de satélite de alta resolução espacial, disponibilizadas gratuitamente pela empresa ESRI no ArcGIS *online*.

Os lineamentos foram classificados de acordo com a respectiva escala (regional e local) e com a ocorrência (observado e provável), tendo daí resultado quatro categorias distintas: regional/observado, regional/provável, local/observado e local/provável.

A distinção relativa à ocorrência teve em conta os critérios de fotointerpretação utilizados, isto é, nos casos em que os critérios permitiram uma clara definição de um lineamento foi atribuída a categoria de *observado*. Nos casos em que a informação de base não permitiu confirmar de forma manifesta a existência de um lineamento ou a respectiva continuidade espacial, foi atribuída a classificação de *provável*. Torna-se, pois, importante frisar que a atribuição da classe *provável* não implica que o lineamento tenha significado menor, mas apenas que a informação na qual a interpretação se baseou não possibilitou a confirmação da sua existência.

A classificação quanto à escala teve como base a continuidade espacial dos lineamentos e a sua proximidade a lineamentos de rumo idêntico. Deste modo, os lineamentos *regionais* tenderão a representar estruturas mais espaçadas entre si, de maior extensão e com distribuição em toda a área de estudo. As estruturas de carácter regional serão, assim, resultado das deformações tectónicas de maior relevância impostas aos terrenos. Por outro lado, os lineamentos *locais* são aqueles que imprimem a *textura* à imagem, representando estruturas menos expressivas do que as de carácter regional, tais como contrastes litológicos, eixos de dobras, estratificação e fracturas de menores dimensões. Tal como no caso observado/provável, é importante fazer notar que a classificação de um lineamento como *local* não implica qualquer perda de significado ou valor.

Uma vez que um dos mais importantes atributos dos lineamentos que se pretende estudar é a sua direcção, houve a necessidade de seccionar os lineamentos mais curvilíneos e de maior extensão em segmentos rectilíneos e mais curtos de modo a evitar a perda de informação.

As diferentes interpretações efectuadas sofreram várias fases de fusão de dados. Por exemplo, as interpretações baseadas em filtros direccionais ou nas imagens de relevo sombreado resultam da fusão de diferentes interpretações realizadas de acordo com as várias direcções consideradas. Intentando a minimização da possível perda de dados resultante das sucessivas fusões, assim como pretendendo evitar a repetição desnecessária de informação e geração de *ruído*, todas as fusões foram implementadas manualmente e tendo por base os dados precedentes. As sucessivas fusões foram levadas a cabo utilizando tanto a composição RGB *true colour* como a B6 como suporte.

4.3.3. Análise estatística dos lineamentos

A característica dos lineamentos mais importante para o presente estudo é a sua direcção. Uma vez que, estes foram digitalizados em ambiente SIG, o cálculo desse parâmetro foi conseguido através da extensão *EasyCalculate* 10 (de obtenção gratuita em www.ian-ko.com). Esta extensão permite calcular a direcção de um elemento linear nos seus extremos ou no ponto correspondente ao centro do segmento de recta. Optou-se pelo cálculo da direcção no centro de cada lineamento. Embora esta opção possa ter algum erro associado, especialmente no que se refere aos lineamentos curvilíneos ou de direcção mais variável, este foi minimizado aquando da digitalização.

Os diagramas de roseta apresentados foram construídos no programa GEOrient.

4.3.4. Mapas de densidade de lineamentos

Os mapas de densidade de lineamentos resultam do cálculo do número ou do comprimento de elementos lineares que intersectam determinada área, de dimensões a estipular pelo utilizador, definida em torno de uma célula, de dimensões também a definir. Deste modo, quanto maior o número de elementos lineares (no caso do presente estudo, lineamentos) que intersecta a área de influência definida, maior a densidade. Para a composição destes mapas foi utilizada a função *line density* do *software* ArcGIS, tendo-se definido células com dimensão de 10m e raio de influência de 800m. Nos mapas gerados, os valores de densidade são apresentados sob a forma de unidade de comprimento de lineamentos por unidade de área.

4.4. Etapa 4 – Identificação de áreas potenciais

Na Fig. 4.4 esquematizam-se os procedimentos implementados na Etapa 4.

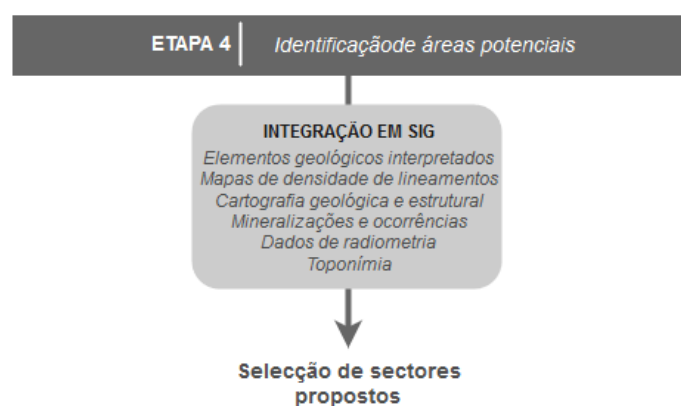


Fig. 4.4. Etapa 4 – Identificação de áreas potenciais.

4.4.1. Integração de informação

Os elementos geológicos obtidos nas fases precedentes foram integrados em ambiente SIG com os mapas de densidades de lineamentos identificados, as ocorrências minerais conhecidas na área de estudo, os elementos de cartografia geológica disponíveis, os dados de radiometria e a informação toponímica.

4.4.2. Critérios para a selecção de áreas potenciais

A selecção de áreas nas quais se propõe o desenvolvimento de trabalhos de prospecção detalhada teve por base a aplicação dos seguintes critérios:

1. Geologia – foram excluídas as áreas correspondentes às bacias meso-cenozóicas, assim como às cristas quartzíticas e correspondentes ao granito de Coentral.

2. Mineralizações conhecidas – a proximidade a mineralizações conhecida ou o alinhamento com as mesmas de acordo com uma direcção que corresponda à de estruturas mineralizadas, são factores que podem aumentar a de determinada área ser, também ela, mineralizada; assim, foram criadas áreas de influência em redor de todas as mineralizações conhecidas, tanto primárias como secundárias, e seleccionados locais a elas contíguos e de rumo semelhante às faixas metalogenéticas em que pudessem estar inseridas.

3. Lineamentos detectados – as zonas de maior densidade de lineamentos, assim como aquelas na proximidade de lineamentos detectados com direcções possivelmente relacionadas com faixas metalíferas foram tidas como adequadas.

4. Radiometria – foi dada prioridade aos locais nos quais se verificassem anomalias radiométricas significativas.

5. Toponímia – foram seleccionadas várias localizações cuja toponímia poderá indicar uma origem relacionada com ocorrências minerais e respectiva exploração.

Expostos os conceitos metodológicos empregues no decorrer desta dissertação, no próximo capítulo expor-se-ão os resultados obtidos no caso particular estudado.

5. Resultados

5.1. Processamento da imagem Landsat 8

Composições coloridas

A combinação das onze bandas espectrais das imagens Landsat 8 perfaz um total de 165 composições RGB possíveis ($C_3^{11} = 165$).

Assim, de modo a facilitar a selecção objectiva dos conjuntos de bandas mais adequados à construção de composições RGB, foi utilizado o índice OIF. Calculado o desvio padrão para cada banda, foi calculado o somatório dos desvios padrão de cada conjunto de três bandas possível. De seguida, com base na matriz de correlação das onze bandas (Fig. 5.1), foi calculado o somatório do coeficiente de correlação entre cada par de bandas integradas na composição colorida. Devido à ausência de correlação entre B9 e as restantes, esta acabou por ser dispensada do OIF final.

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
B1	1	0,99	0,93	0,90	0,44	0,73	0,79	0,85	0,03	0,57	0,57
B2	0,99	1	0,96	0,94	0,44	0,78	0,85	0,89	0,04	0,51	0,52
B3	0,93	0,96	1	0,97	0,55	0,87	0,91	0,91	0,05	0,48	0,48
B4	0,90	0,94	0,97	1	0,42	0,85	0,93	0,91	0,05	0,42	0,43
B5	0,44	0,44	0,55	0,42	1	0,62	0,48	0,45	0,01	0,52	0,52
B6	0,73	0,78	0,87	0,85	0,62	1	0,96	0,79	0,07	0,52	0,52
B7	0,79	0,85	0,91	0,93	0,48	0,96	1	0,85	0,07	0,46	0,46
B8	0,85	0,89	0,91	0,91	0,45	0,79	0,85	1	0,05	0,42	0,43
B9	0,03	0,04	0,05	0,05	0,01	0,07	0,07	0,05	1	0,00	0,00
B10	0,57	0,51	0,48	0,42	0,52	0,52	0,46	0,42	0,00	1	0,99
B11	0,57	0,52	0,48	0,43	0,52	0,52	0,46	0,43	0,00	0,99	1

Correlação	
Excelente	0,80 - 1
Muito boa	0,70 - 0,80
Boa	0,60 - 0,70
Fraca	0,40 - 0,60
Ausente	<0,40

Fig. 5.1. Matriz de correlação das bandas espectrais.

Pela análise da Fig. 5.1, e tal como seria expectável, podem identificar-se três grupos de bandas extremamente bem correlacionadas:

- (i) B1-B4 e B8, correspondendo praticamente à região visível do espectro;
- (ii) B6 e B7, correspondentes à região do IV médio;
- (iii) B10 e B11, correspondendo ao IV térmico (SWIR).

A B5 (IV médio) apresenta fraca correlação com a maioria das restantes bandas, excepção feita no que se refere à B6. Esta situação pode ser explicada na medida em que os comprimentos de onda abrangidos por ambas as bandas correspondem a picos de reflectância da vegetação. Uma vez que foi desenvolvida com o objectivo de medir apenas a radiação relacionada com fenómenos atmosféricos específicos (nuvens cirro), o facto de a B9 não se apresentar correlacionada com as restantes bandas, é, também, concordante com a situação esperada.

Obtidos os componentes necessários ao cálculo do OIF, os resultados finais foram ordenados de forma decrescente, tendo-se analisado as dez combinações com OIF mais elevado (Tabela 5.1). Os valores utilizados para o cálculo do OIF são apresentados no Anexo IV.A.

Tabela 5.1. Combinações de bandas com OIF mais elevado.

Combinações possíveis	OIF
5-6-10	2354,41
5-7-10	2353,66
5-6-11	2260,84
5-7-11	2247,28
4-5-10	2157,02
5-6-7	2078,68
5-8-10	2073,40
4-5-11	2027,91
5-6-8	2004,18
4-5-6	1999,62

Com base nos resultados do OIF e na análise visual de cada composição, quatro combinações RGB foram seleccionadas para posterior análise: 6-5-10, 5-7-11, 5-8-10 e 7-5-2 (Fig. 5.2).

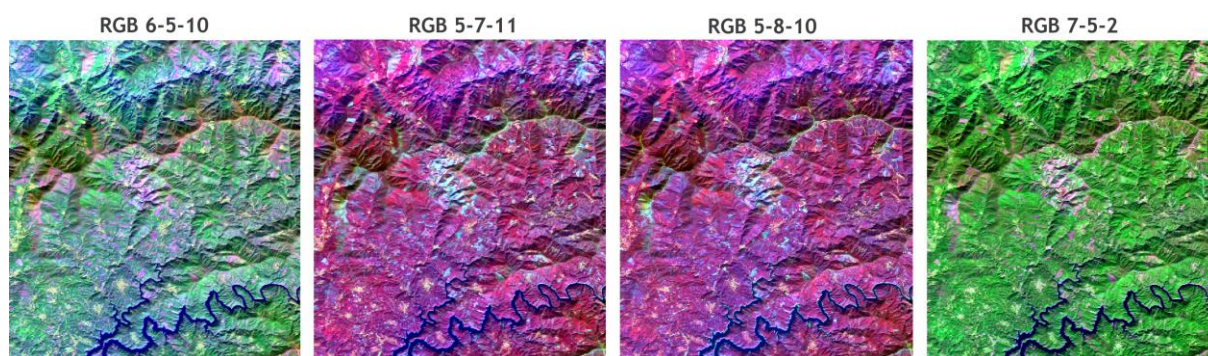


Fig. 5.2. Composições RGB utilizadas para detecção de elementos geológicos.

Rácios

Foram testados todos os rácios mencionados em 3.1.3., assim como vários outros indicados nas fontes bibliográficas consultadas, no entanto nenhum deles se mostrou eficaz na caracterização geológica da região. A razão pela qual estes rácios não apresentaram resultados proveitosos para a identificação e características geológicas poderá estar relacionada com o denso coberto vegetal existente.

A composição RGB com os rácios B6/B7, B4/B2 e B6, respectivamente, não produziu os resultados referidos na bibliografia. Van der Meer *et al.* (2012) mencionam que nesta composição, por exemplo, ao azul ciano corresponderiam materiais ricos em Fe^{3+} , com albedo moderado e baixo teor de humidade, ou ao verde-claro materiais pobres em Fe^{3+} , com albedo baixo, e indicando a presença de H_2O , OH^- e materiais carbonosos. Esta representação não parece ser concordante com os resultados presentemente obtidos nem com o conhecimento que se tem da região (Fig. 5.3).

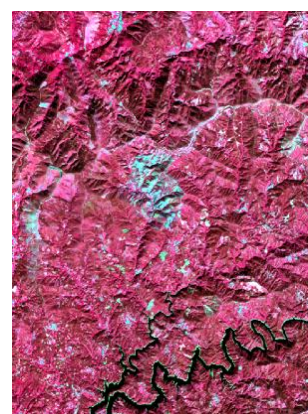


Fig. 5.3. Composição RGB B6/B7, B4/B2 e B6.

ACP

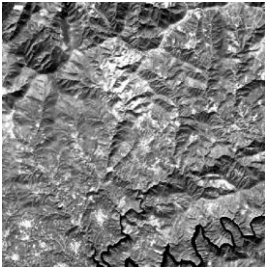

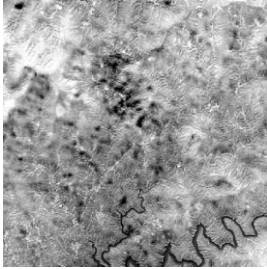
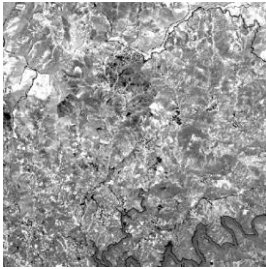
Tabela 5.2. Valores próprios e percentagem de explicação de cada eixo principal.

Eixo	Valores próprios	Variância (%)	Variância acumulada (%)
PC1	5.870.013,46	72,66	72,66
PC2	1.442.539,63	17,86	90,52
PC3	509.682,33	6,31	96,83
PC4	189.064,10	2,34	99,17
PC5	34.242,29	0,42	99,59
PC6	19.325,96	0,24	99,83
PC7	8.025,36	0,10	99,93
PC8	3.142,07	0,04	99,97
PC9	1.988,06	0,02	99,99
PC10	413,44	0,01	100,00
PC11	80,10	0,00	100,00

Analisando a variância contida em cada um dos eixos resultantes da ACP (Tabela 5.2), verifica-se cerca de 97% da informação se encontra representada nos três primeiros eixos (PC1, PC2 e PC3). Esse mesmo valor sobe para 99% se considerados os primeiros quatro eixos, significando que nos restantes sete eixos apenas se encontra acumulado 1% da informação.

Na Tabela 5.3 apresentam-se os vectores próprios correspondentes aos primeiros quatro eixos principais, assim como as imagens correspondentes a cada um dos eixos principais (PC1 a PC4). Os vectores próprios dos restantes eixos (PC5 a PC11), assim como as respectivas imagens, são apresentados no Anexo IV.B.

Tabela 5.3. Vectores próprios de cada eixo principal (PC1 a PC4) e respectivas imagens.

							
PC1		PC2		PC3		PC4	
B6	0,61	B5	0,79	B5	0,22	B6	0,51
B5	0,55	B10	0,08	B6	0,13	B10	0,05
B7	0,40	B11	0,07	B7	0,07	B11	0,03
B4	0,20	B9	0,00	B4	0,02	B7	0,02
B10	0,18	B1	-0,06	B3	0,01	B9	0,00
B8	0,17	B2	-0,09	B8	0,01	B5	-0,10
B3	0,16	B3	-0,11	B9	0,00	B1	-0,27
B11	0,14	B8	-0,15	B2	-0,05	B2	-0,31
B2	0,10	B4	-0,21	B1	-0,07	B3	-0,35
B1	0,08	B6	-0,34	B11	-0,59	B4	-0,43
B9	0,00	B7	-0,39	B10	-0,76	B8	-0,50

Como se verifica pela análise da Tabela 5.2 e da Tabela 5.3, do PC1 resulta uma imagem de grande qualidade que resume as principais características de toda a

informação presente nas bandas espectrais originais. Esta imagem representa a média ponderada de toda a informação contida nas diferentes bandas, destacando-se os pesos de B5, B6 e B7, correspondentes, respectivamente, ao IV próximo e médio (SWIR). O domínio destas três bandas específicas pode fornecer informações importantes sobre as principais coberturas da área, nomeadamente, indicando que a resposta espectral medida é fortemente condicionada pelo abundante coberto vegetal.

O segundo eixo (PC2) é dominado pelo peso da B5 e, em menor proporção, da B6 e B7, reflectindo, mais uma vez, a influência da vegetação na resposta espectral da área em estudo.

As bandas B10 e B11, correspondentes ao IV térmico, são as que mais informação apresentam no eixo PC3. Assim, na imagem correspondente a este eixo podem identificar-se variações da temperatura superficial, assim, como do teor em água, sendo de notar a boa definição da rede de drenagem.

Por fim, o eixo PC4, que explica apenas 2% da variância total, apresenta mais informação das bandas B6 e B8, apresentando as bandas B1 a B4 pesos menores, mas semelhantes entre si. Conclui-se, então, que este eixo apresenta uma imagem relacionada com os comprimentos de onda da região do visível (B2, B3, B4 e B8), reflectindo alguns efeitos atmosféricos e possivelmente relacionados com o teor de humidade da cobertura (B1 e B6). A imagem resultante do PC4 permite um excelente realce da rede viária principal, assim como das vias secundárias, caminhos corta-fogo e das margens de albufeiras.

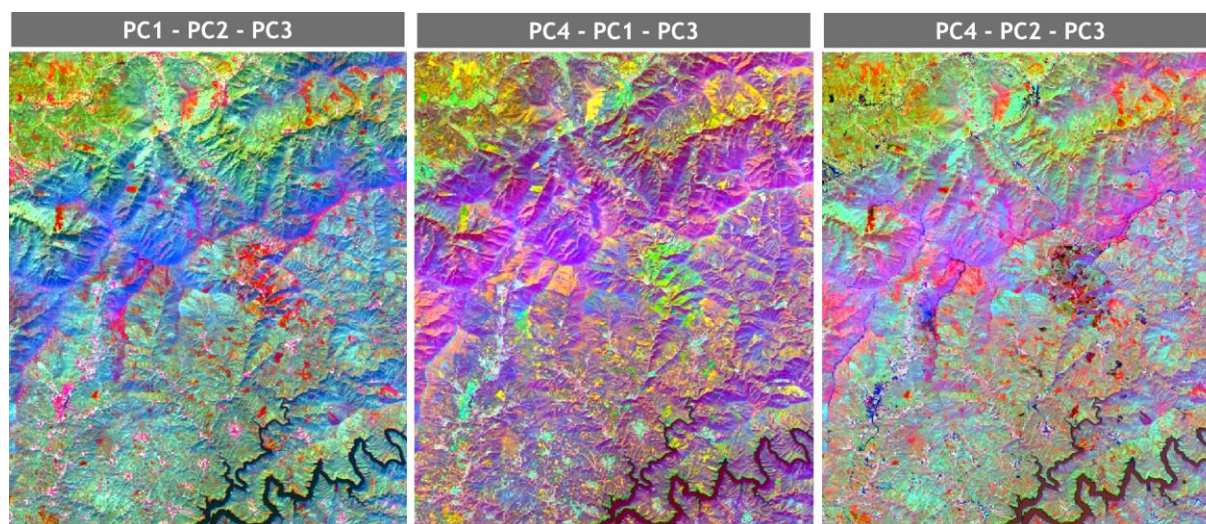


Fig. 5.4. Composições RGB com os primeiros quatro eixos principais.

Tal como se exemplifica na Fig. 5.4, foram testadas diferentes composições coloridas utilizando as componentes principais obtidas através da ACP. Apesar de ser relativamente clara a distinção de alguns elementos de origem antrópica (especialmente estradas e zonas urbanizadas), evidenciando-se, também, uma clara divisão entre os domínios NW e SW separados pela falha de Lousã, os resultados não possibilitaram a identificação de mais elementos proveitosos para os fins do presente estudo. Apesar de estas composições RGB apresentarem alguns elementos que não surgem destacados através de outros processamentos, a sua interpretação revelou-se complicada na medida em que não foi possível efectuar correlações significativas com as coberturas conhecidas. Por estes motivos, os resultados relacionados com a ACP acabaram por ser tidos em consideração.

Classificação

Os resultados das classificações efectuadas podem ser consultadas na Fig. 5.5: (1) classificação automática; B6; 15 classes; (2) classificação automática; bandas 5, 6, 7 e 11; 7 classes; (3) classificação supervisionada, bandas 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8; 10 classes; (4) classificação supervisionada; bandas 5, 6 e 7; 14 classes.

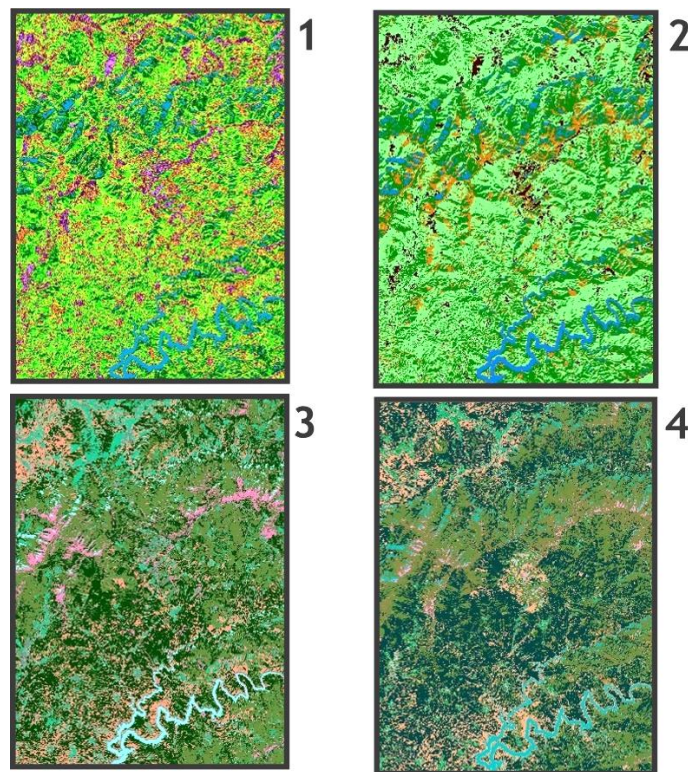


Fig. 5.5. Resultados da classificação da imagem de satélite: automática (1 e 2) e supervisionada (3 e 4).

Em relação às **classificações automáticas** pode concluir-se que a definição de classes ficou longe do desejado. Verificou-se um erro persistente no qual as zonas de vertente viradas a N (zonas de sombra) recebem a mesma classificação que os corpos de água. Quer o granito de Coentral, quer os Penedos de Góis, surgem agrupados juntamente com as zonas urbanas. Não foi possível a diferenciação das coberturas geológicas uma vez que os depósitos meso-cenozóicos (canto NW da imagem) surgem muito semelhantes aos materiais do SGDB.

Não tendo a aplicação das classificações automáticas possibilitado a obtenção de resultados apreciáveis, foram testadas **classificações supervisionadas**, com definição de diferentes áreas de treino. Nestas, houve a necessidade de remoção das bandas 10 e 11 devido ao ruído artificial provocado (bandado de direcção aproximada NE-SW). A classificação (3) foi considerada como satisfatória. Da classificação (4), para qual as áreas de treino utilizadas anteriormente foram redefinidas, acabou por se obter o melhor resultado. Apesar da excelente definição de estradas, dos bons resultados na identificação de zonas urbanas, de resultados aceitáveis na identificação de corpos de água e de zonas agrícolas, a identificação de unidades geológicas não se revelou satisfatória. Apesar de as massas graníticas surgirem bem distintas do envolvente e de lhes terem sido atribuídas áreas de treino específicas, acabaram por ser agrupadas ao mesmo tipo de classe que as zonas urbanas. Do mesmo modo, não foi possível individualizar as cristas quartzíticas, nem distinguir a cobertura meso-cenozóica dos materiais do Grupo das Beiras.

Deste modo se conclui que os métodos de classificação utilizados não permitiram obter resultados satisfatórios para a definição de elementos geológicos na área de estudo. Mais uma vez, esta dificuldade na diferenciação de unidades geológicas poder-se-á atribuir à extensa e densa cobertura vegetal da área em estudo.

Detecção de lineamentos

A **detecção manual** de lineamentos sobre a imagem de satélite foi realizada sobre os resultados de três processamentos: (1) composições RGB, (2) filtros direccionais aplicados sobre rácios e (3) filtros direccionais aplicados sobre a B6.

A **detecção automática** de lineamentos não se mostrou vantajosa em comparação com a identificação pericial. Apesar de o algoritmo utilizado proceder à identificação de estruturas lineares de modo automatizado, com um consumo de tempo mínimo, os resultados gerados não se mostraram satisfatórios na medida em que requeriam abundante análise pericial para a devida separação entre os lineamentos de possível origem geológica e os de clara origem antrópica ou não geológica. Os resultados foram igualmente insatisfatórios para todas as variações de parâmetros testadas (referidos em 4.2.1.).

Não apresentando os parâmetros testados resultados favoráveis ter-se-ia como necessária uma fase de testes significativos de modo a encontrar os valores mais adequados para a detecção automática de lineamentos. Uma vez que a realização de semelhante fase de testes implicaria elevado consumo de tempo, foi dada preferência à análise pericial, que mesmo sendo morosa, permite obter resultados mais fiáveis e cuja origem pode ser facilmente verificada e, eventualmente, corrigida.

Os resultados da identificação preliminar de lineamentos sobre as imagens derivadas da imagem de satélite podem ser vistos na Fig. 5.6.

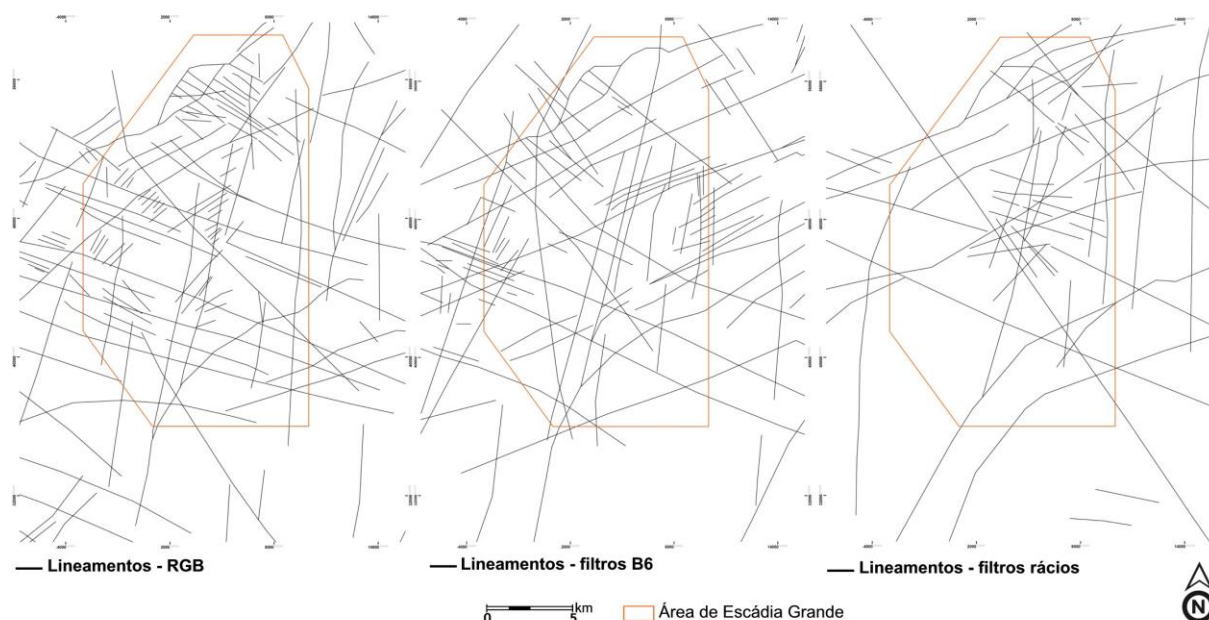


Fig. 5.6. Identificação preliminar de lineamentos sobre: composições RGB, filtros direccionais sobre B6 e filtros direccionais sobre rácios.

Da análise das composições RGB resultou a detecção de 146 lineamentos, da aplicação de filtros direccionais sobre diferentes rácios, 61, e dos filtros direccionais aplicados sobre a B6, 113.

Assim, os únicos métodos de processamento que forneceram dados relevantes sobre a imagem de satélite foram os que permitem o realce da estrutura (filtros direccionais). Excepção feita às combinações coloridas, os resultados da aplicação de ferramentas que se baseiam na resposta espectral da cobertura (rácios, ACP, classificação) foram fortemente condicionados pelo extenso e denso coberto vegetal da região e, por isso, considerados inconclusivos. Deste modo, a utilização de abordagens mais adequadas à resolução de problemas de aquisição de informação condicionada pela cobertura vegetal poderá apresentar melhorias em relação aos métodos utilizados.

5.2. Processamento dos dados de altimetria

O processamento dos dados de altimetria descrito no capítulo anterior teve como objectivo último a obtenção dos mapas de relevo sombreado com o intuito de se proceder à identificação de lineamentos sobre os mesmos. Tal como no caso das imagens de satélite, a aplicação do algoritmo de detecção automatizada não permitiu obter resultados relevantes, tendo sido dada preferência à interpretação manual. Esta foi realizada com base em critérios básicos da fotointerpretação, assim como no conhecimento prévio da geologia regional e das principais estruturas.

Os resultados, que podem ser vistos na Fig. 5.7, permitiram detectar um total de 169 lineamentos.

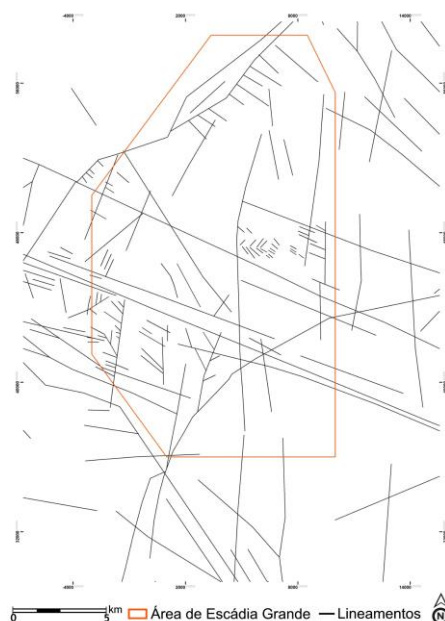


Fig. 5.7. Identificação preliminar de lineamentos sobre mapas de relevo sombreado.

5.3. Validação dos resultados no terreno

Efectuada a identificação preliminar, por métodos de detecção remota, de possíveis elementos geológicos potencialmente relacionados com mineralizações de Sn-W e/ou Au, procedeu-se ao seu reconhecimento no terreno. Uma vez que os únicos elementos que a metodologia utilizada permitiu evidenciar foram lineamentos, os trabalhos de campo focaram-se essencialmente numa análise estrutural.

5.3.1. Selecção de sectores para reconhecimento de campo

A preparação dos trabalhos de campo consistiu na selecção dos sectores de maior interesse incluídos na área de prospecção e pesquisa de Escádia Grande. Para o efeito, os resultados do processamento da imagem de satélite e dos dados de altimetria foram integrados em ambiente SIG juntamente com as mineralizações e ocorrências e a cartografia militar. Foi dada prioridade à selecção de locais nas imediações de mineralizações conhecidas, a locais nos quais foram detectados lineamentos cujas características permitiram deduzir alguma relação com as mesmas e locais nos quais foram detectados lineamentos com direcções semelhantes às de estruturas reconhecidas na cartografia geológica publicada. Assim, seleccionaram-se seis sectores para o reconhecimento geral e dois de maior pormenor, junto às antigas minas de Vale Pião e de Escádia Grande (Fig. 5.8).

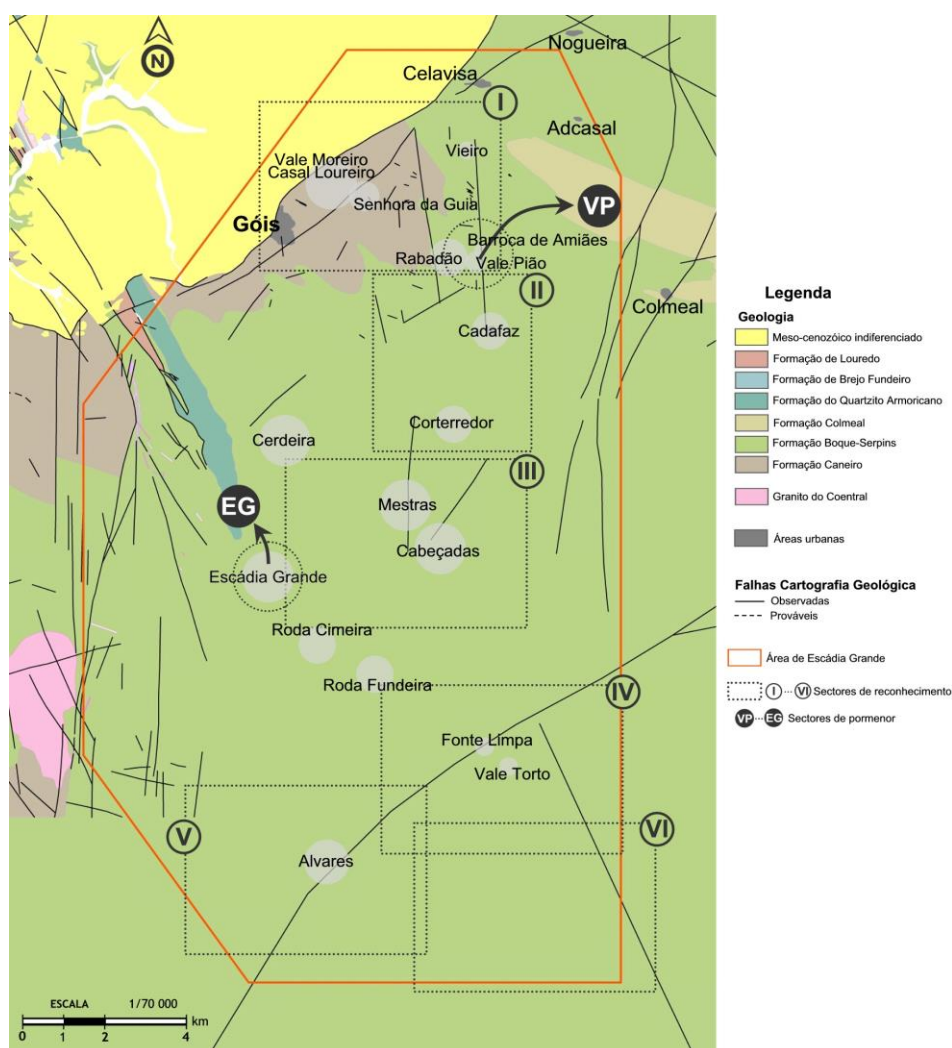


Fig. 5.8. Sectores estabelecidos para o reconhecimento de campo.

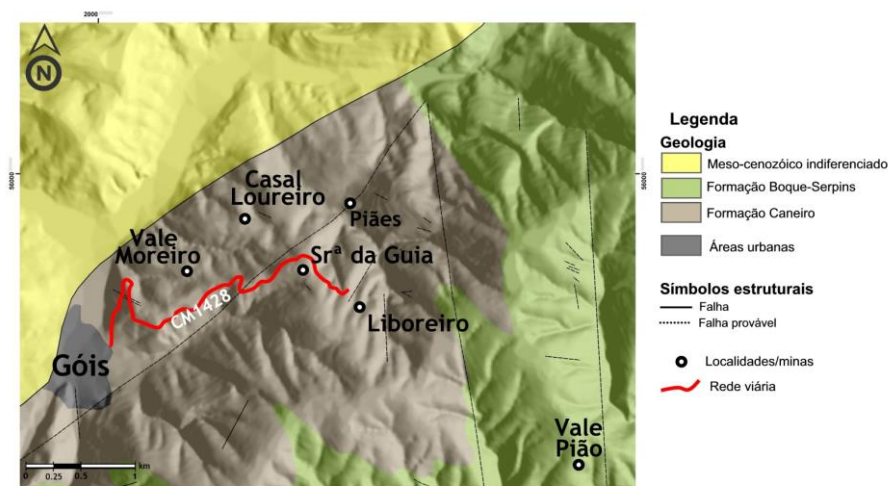
Sector I

Fig. 5.9. Enquadramento Sector I.

Esta área foi escolhida com o intuito de reconhecer um conjunto de lineamentos aparentemente correspondentes à falha Piães-Senhora da Guia e uma série de lineamentos NW-SE de pequena dimensão que poderão estar relacionados com as mineralizações.

No sector I incluem-se as ocorrências estano-volframíticas do Couto Mineiro de Góis:

- (1) brecha estanífera de Vale Moreiro - Casal Loureiro (N70-75°E);
- (2) filões volframíticos de Senhora da Guia (N50-75°W);
- (3) estruturas mineralizadas de Vale Pião (brechas, *stockwork* e filões N0-25°E, 50-70°SE; N50°E, 50-60°SE; N60-70°W, 60-80°NE);
- (4) filões estano-volframíticos de Rabadão (N60-70°W, 70-80°NE; N30-40°E, 55-75°NW; N0-10°E, 70-80°E; N10-25°W, 15-20°W).

A vista para NE a partir da Nossa Senhora da Guia sugere que o relevo é constituído por níveis/socalcos com cotas decrescentes até à falha de Lousã (Fig. 5.10), aparentemente controlados por uma série de alinhamentos subparalelos e orientados sensivelmente NE-SW. De acordo com as interpretações preliminares realizadas, este conjunto de lineamentos não foi identificado pelos métodos de detecção remota, excepção feita para um único lineamento desta família, que foi identificado na análise dos mapas de relevo sombreado.



Fig. 5.10. Vista do santuário de Nossa Senhora da Guia. Disposição do relevo em socalcos decrescentes até à falha de Lousã, controlados tectonicamente por alinhamentos subparalelos entre si e de direcção aproximada NE-SW.

Mais uma vez, a geomorfologia (Fig. 5.11) parece indicar um alinhamento N60°E entre a vila de Góis e o santuário de Nossa Senhora da Guia. Esta estrutura, reconhecida por detecção remota, parece corresponder a um troço da falha Piães-Senhora da Guia. A partir do referido santuário, o relevo sugere uma ligeira alteração do rumo desta estrutura até Piães (Fig. 5.9), passando a orientar-se N30-40°E. Esta mudança de rumo é coincidente com os resultados de detecção remota, nos quais a zona de Senhora da Guia corresponde à confluência de estruturas com as direcções agora referidas. Nesta área restrita e que aparenta corresponder à convergência de estruturas importantes, foi reconhecida uma massa de quartzo aflorante em cerca de 200m, de direcção aproximada N20°E e algo fracturada (família principal de diaclases orientada N10-20°W). Outras estruturas reconhecidas nas imediações do santuário de Nossa Senhora da Guia foram: $S_0 = N65-75^\circ W$, falha vertical N-S (com caixa de cerca de 1m) e filões de quartzo subverticais, N40-60°E. No interior de uma galeria de prospecção foi possível reconhecer: maciço xisto-grauvacóide, com espessamento significativo das camadas grauváquicas para o interior, e evidências de metamorfismo; falhas N70°W, 75°NNE e E-W, vertical; filões de quartzo verticais, orientados N40°W e N15°E; filões de quartzo sub-horizontais inclinando 20°N.

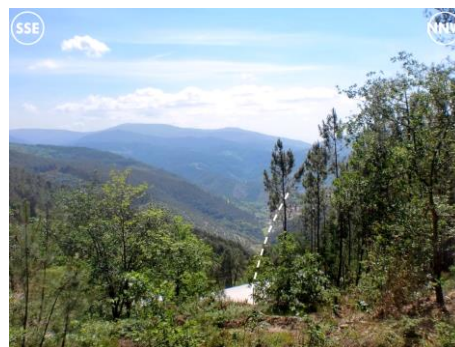


Fig. 5.11. Vale da Barroca do Ribeiro, visto de Nossa Senhora da Guia.

Na estrada CM1428, entre Liboreiro e Góis (Fig. 5.9), foram reconhecidas as seguintes estruturas: (1) falha E-W, 50°S; (2) filão de quartzo, N50°E, nas imediações do qual se verificam modificações significativas na direcção da estratificação, variando N30-50-80°W; (3) falha N50°E, com zona de esmagamento de cerca de 8m e $S_0 = N60-80^\circ W$.

Junto à antiga mina de Nossa Senhora da Guia reconheceu-se: litologia mais grauvacóide, com silicificação por vezes evidente; foram encontrados calhaus soltos com a presença de nódulos; $S_0 \equiv S_1 = N50^\circ W$, 80°NE; duas gerações distintas de quartzo, uma com mineralização volframítica visível (filão N60-70°W, 30-45°SW – Fig. 5.12-A), extremamente fracturada em direcções muito específicas e penetrativas (N35-40°W, nos bordos; N20°W, no interior), e outra geração de quartzo, de origem tectónica, oblíqua à estratificação e dobrada; filão de quartzo N50°W, 80-90°SE, numa zona em que o encaixante é muito menos grauvacóide e onde se encontram xistos mosqueados (Fig. 5.12-B).

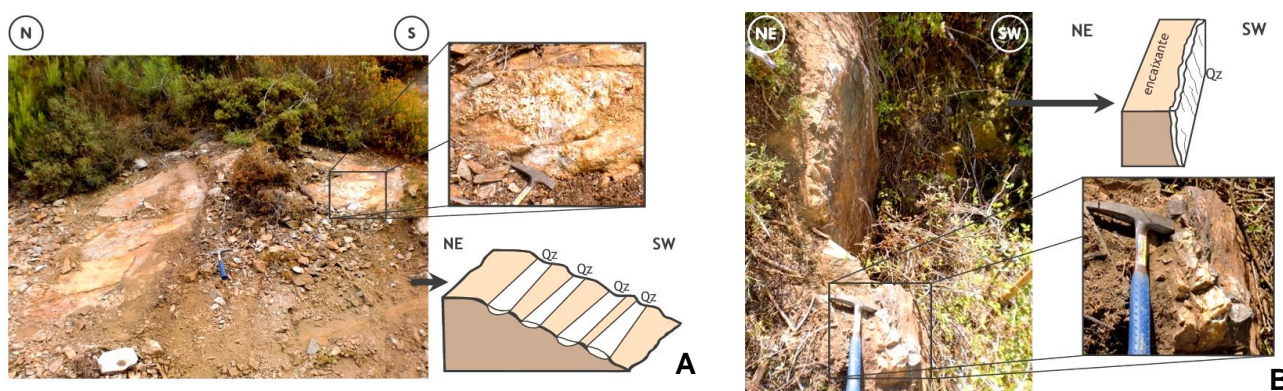


Fig. 5.12. Mina de Senhora da Guia (A) filão N60-70°W, 30-45°SW, com mineralização volframítica. (B) filão N50°W, 80-90°SE.

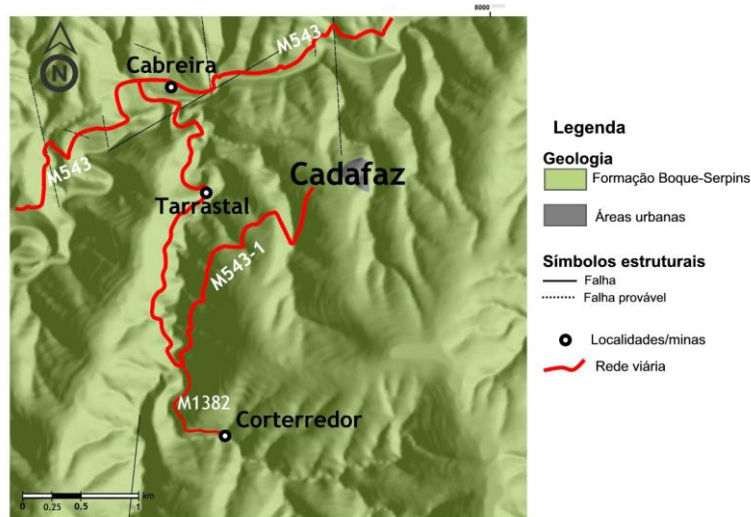
Sector II

Fig. 5.13. Enquadramento Sector II.

Tendo sido detectados lineamentos aparentemente correspondentes à Falha de Cabreira assim como um conjunto importante de lineamentos N-S a NNE-SSW, intersectando as ocorrências auríferas conhecidas em Cadafaz e Corterredor, foi seleccionado o sector II. Tal como se referiu no Capítulo 2, estas ocorrências auríferas são englobadas na faixa Au-Ag Vieiro-Fonte Limpa (de direcção sensivelmente N-S).

Junto à ponte romana de Cabreira, na margem N do rio Ceira, a estratificação foi medida como tendo a direcção N60°W e foi encontrada fracturação muito bem marcada N50°E e falhas N55°E e N10°W, todas elas subverticais. Junto a esta localidade foram reconhecidos filões de quartzo sub-horizontais com espessura máxima de cerca de 5cm, extremamente contínuos lateralmente e claramente rejeitados por movimento vertical, por vezes da ordem dos 5m.

Nas imediações da localidade de Tarrastal (Fig. 5.13) a transição entre formações xistentas (S₀ N60°W) e grauvacóides é muito evidente e feita através de falha subvertical, com preenchimento de quartzo e de sulfuretos (Fig. 5.14, A). Foram também identificados filões de quartzo subverticais (N10°E) e sub-horizontais (Fig. 5.14, B).

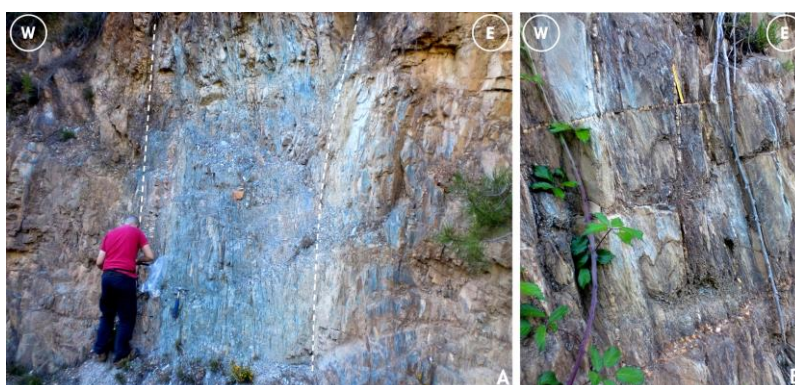


Fig. 5.14. (A) Falha subvertical, correspondendo à transição xistos-grauvaques;
(B) Filões de quartzo subverticais (N10°E) e sub-horizontais.

Na estrada M543-1, em direcção a Cadafaz (Fig. 5.13), foi identificada uma caixa de falha N10°W com preenchimento argiloso, uma caixa de falha N30°E, 70°NW e com cerca de 20cm de espessura e a estratificação foi identificada como N45-50°W.

Na estrada CM1382, que liga a localidade de Corterredor à estrada M543-1 (Fig. 5.13), foram identificadas as seguintes estruturas: falha N0-5°W, subvertical, com estrias e de movimentação provavelmente esquerda (Fig. 5.15); diaclases N45-60°E, com preenchimento de quartzo; fracturas N40°E, com espaçamento de 0,5-1m; grande plano de falha N0-5°W, subvertical, com estrias principalmente horizontais, mas também verticais e oblíquas (Fig. 5.16).



Fig. 5.15. Falha N0-5°W.



Fig. 5.16. (A) Plano de falha N0-5°W; (B e C) estrias.

Neste sector foram identificados dois alinhamentos geomorfológicos, correspondentes a formas de relevo positivas alongadas segundo direcções bem definidas: N10°E (a SE de Sandinha) e N5-25°E (em Entre Ribeiros). Enquanto o primeiro não parece ter sido identificado pelos métodos de detecção remota, o segundo surge associado a um extenso lineamento NNE-SSW.

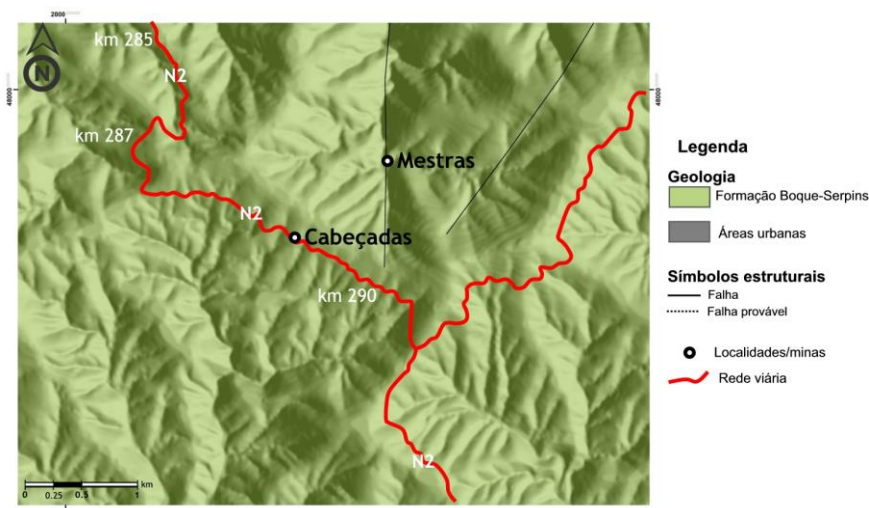
Sector III

Fig. 5.17. Enquadramento Sector III.

Este sector foi seleccionado com o objectivo de identificar a intersecção de duas famílias de lineamentos detectados: (1) o prolongamento para sul dos lineamentos N-S a NNE-SSW referidos no sector II e que intersectam as imediações da ocorrência aurífera de Cabeçadas; (2) os lineamentos NW-SE, que perfazem o alinhamento entre as ocorrências auríferas de Cerdeira, Mestras e Cabeçadas.

Entre os quilómetros 285-8 e 285-9 da N2 (Fig. 5.17) os xistos são a litologia dominante. Mediu-se a estratificação N40-60°W, subvertical, e várias estruturas: uma zona de esmagamento, com 20-80cm de espessura, de direcção N50°W, e que parece evidenciar um comportamento mais dúctil (zona de cisalhamento com espessura aparente de 5m); uma zona de esmagamento, N40°E, subvertical, de comportamento mais frágil (Fig. 5.18, A); corredores de cisalhamento N50-60°W, evidenciando estrias subverticais; diaclases N30°E e N40°E; falha N55°E (Fig. 5.18, B). O sistema de falhas NE-SW pareceu estar circunscrito a um troço muito específico de 20-30m. Na Fig. 5.18, C pode ver-se um exemplo do forte diaclasamento sub-horizontal, subperpendicular à estratificação.



Fig. 5.18. (A) Zona de esmagamento, N40°E ; (B) Falha N55°E; (C) Diaclasamento sub-horizontal.

Junto ao quilómetro 286-4 (Fig. 5.17) reconheceram-se fracturas orientadas praticamente N-S e uma zona de cisalhamento N50°W.

Ao quilómetro 288-3 (Fig. 5.17), a estratificação varia entre N10-50°E, tendo sido encontradas evidências de estratificação cinematicamente activa (variando entre N10°E e N10°W, com planos evidentemente estriados). Foram encontradas fracturas N5°E, que cortam a estratificação e se encontram preenchida por quartzo. Localizou-se uma caixa de

falha, de direcção N25°W e espessura aparente da ordem dos 3m (Fig. 5.19, A). Identificaram-se zonas de cisalhamento distintas, de direcção N60-70°W (Fig. 5.19, B) e N-S (Fig. 5.19, C), assim como uma caixa de falha de espessura aparente 20-40cm, direcção N60°W e com estrias subverticais num dos espelhos.



Fig. 5.19. (A) caixa de falha N25°W; (B) Zona de cisalhamento N60-70°W; (C) Zona de cisalhamento N-S.

Junto a Cabeçadas (Fig. 5.17), a estratificação foi medida como tendo a direcção N60°W, foram identificadas pequenas falhas N10°W, com preenchimento de quartzo, e fracturas mais discretas N60°E, N50°W e N-S.

Neste sector foram, assim, reconhecidas estruturas apreciáveis que poderão ser associadas aos lineamentos NW-SE previamente detectados. No que se refere aos lineamentos N-S a NNE-SSW, apesar de terem sido encontradas algumas estruturas possivelmente pertencentes a esta família, são de expressão menor relativamente aos de direcção NW-SE.

Sector IV

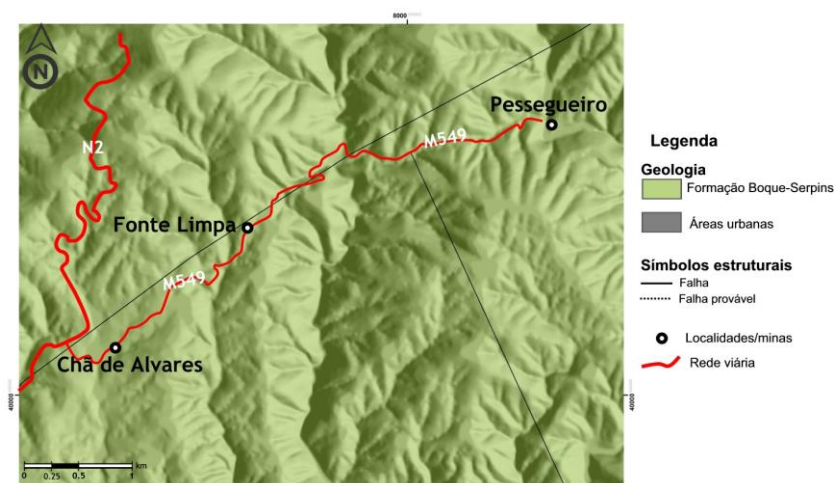


Fig. 5.20. Enquadramento Sector IV.

O sector IV foi escolhido com o intuito de se reconhecer a Falha de Cebola, os lineamentos de direcção aproximada N-S que intersectam a área envolvente às mineralizações conhecidas em Fonte Limpa e Vale Torto e procurar evidências de

estruturas de direcções NW-SE, possivelmente relacionadas com a faixa Au-Ag de Escádia Grande. Tal como indicado no Capítulo 2, a ocorrência de Fonte Limpa estará relacionada com o eixo mineralizado sensivelmente N40-50°W e a mineralização Sb-Au de Vale Torto ocorre num filão N30°W.

Passada a localidade de Chã de Alvares (Fig. 5.20), foi identificada a intersecção de fracturas N70-80°W e N20-30°E, assim como uma zona de carácter mais grauvacóide, na qual se identificaram fracturas N60°W e N30-40°E, sendo a última direcção correspondente a planos com preenchimento de quartzo com cerca de 5cm de espessura. Cerca de 500m a SW de Fonte Limpa (Fig. 5.20) foram encontradas fendas preenchidas por quartzo, de direcção N50°E, subverticais e onduladas. Neste mesmo local a estratificação orienta-se N60°W e foi identificada uma falha com a mesma direcção.

Cerca de 500m a NE de Fonte Limpa (Fig. 5.20) identificou-se uma caixa de falha importante, com espessura real na ordem dos 10m. Esta caixa de falha (Fig. 5.21) é definida por dois planos muito bem marcados, de direcção N50°E, e deverá corresponder a um troço da falha de Cebola previamente identificado por detecção remota.

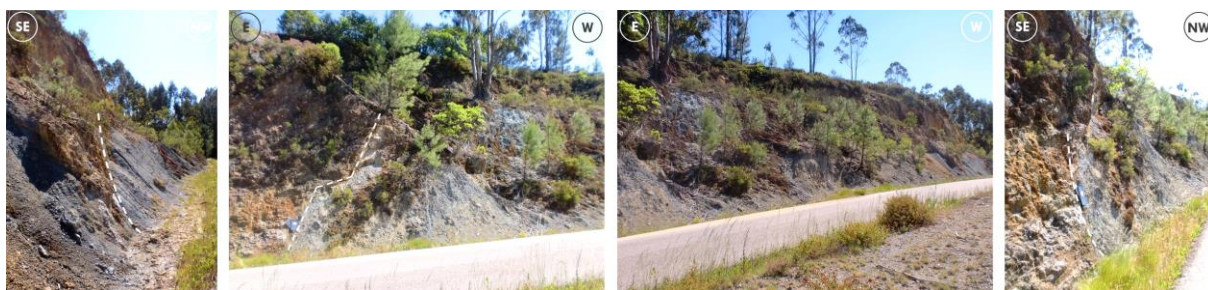


Fig. 5.21. Caixa de falha N50°E (provável troço da falha de Cebola).

Obliquas à estrutura previamente referida, foram encontradas falhas N10°E (Fig. 5.22). Junto à localidade de Pessegueiro (3km para E de Fonte Limpa) foram identificadas falhas de menor expressão, e com direcções N5°W N0-10°E e E-W. Não foram reconhecidas quaisquer outras estruturas de direcção NW-SE.



Fig. 5.22. Falha N10°E.

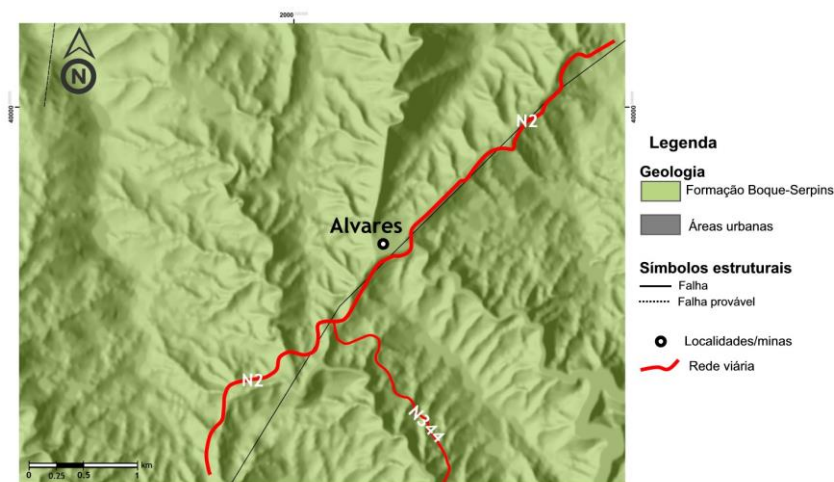
Sector V

Fig. 5.23. Enquadramento Sector V.

Seleccionou-se este sector com o objectivo de reconhecer o prolongamento para SW da Falha de Cebola e a intersecção desta com lineamentos NNE-SSW detectados junto a Alvares.

Imediatamente a sul de Alvares foram reconhecidas duas falhas subverticais: N60°W e N10°W. A SW desta localidade, junto ao talude norte do entroncamento das estradas N2 e N344 (Fig. 5.23) foi identificada uma zona fortemente tectonizada, aflorante em pelo menos 150m, correspondendo à confluência de estruturas N0-10°E, num sector mais limitado, e N20-30°E e N30-40°E, num sector mais amplo. Apesar de não terem sido identificadas estruturas directamente associáveis à falha de Cebola, foi confirmada a existência de importantes estruturas de direcções N-S a NNE-SSW que foram detectadas remotamente.

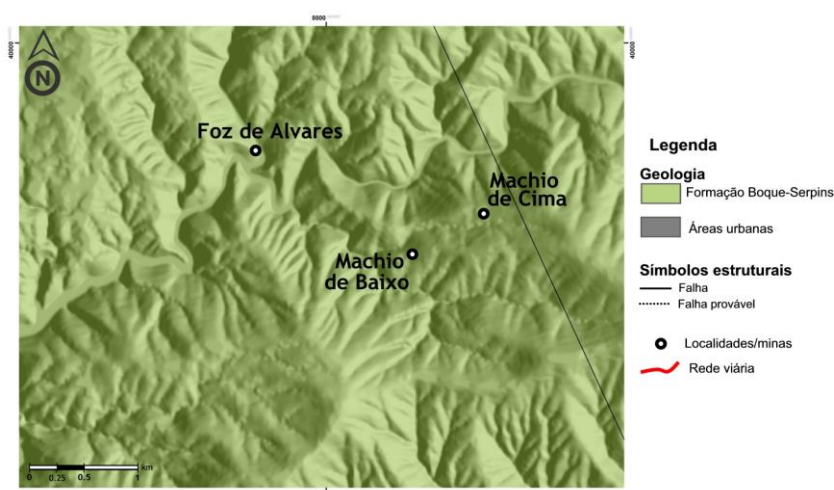
Sector VI

Fig. 5.24. Enquadramento Sector VI.

Este sector foi seleccionado com o intuito de reconhecer os lineamentos detectados remotamente, junto à localidade de Machio, aparentemente paralelos à falha de Cebola.

Junto à localidade de Machio de Baixo (estrada M548 - Fig. 5.24) foi medida estratificação N60-70°W, algumas pequenas falhas oblíquas e diaclases N45°E. Na estrada que liga Machio a Foz de Alvares registaram-se: falhas N80-90°E, 45°SE (com estrias muito evidentes); uma possível caixa de falha N60°W; falha N50-60°E e estratificação

N60°W; falha N60°W e estratificação N-S; falhas N70°W e estratificação N50°W. Na mesma estrada, mas na margem norte do rio Unhais, mediu-se estratificação N50°W e algumas fracturas N40°E, relativamente discretas.

Foi, então, possível, confirmar a existência de algumas estruturas subparalelas à falha de Cebola, embora menos evidentes do que o que era expectável. Não foram encontradas evidências do lineamento N-S, detectado remotamente junto a Machio de Baixo.

Vale Pião

Junto às ruínas do antigo edifício da COFENA, foi possível realizar trabalho de grande detalhe. Um afloramento que se estende sensivelmente NNW-SSE, ao longo de cerca de 11m de comprimento, foi previamente avaliado de modo a serem seleccionadas as zonas mais importantes para o estudo em causa. Foi seleccionado um sector com 6m de comprimento e até 2m de altura, no qual se começaram por marcar, no afloramento propriamente dito, os pontos de referência necessários para a definição da malha de análise. Foram definidos painéis de análise correspondentes a uma quadrícula com 1m de lado. Tendo estabelecido um referencial adequado, em cada um dos doze painéis que perfaziam a cobertura do afloramento, sobre papel milimétrico foi-se procedendo ao registo das estruturas geológicas importantes. Os registos de campo foram posteriormente digitalizados, permitindo a representação mais cuidada das estruturas geológicas significativas. Na Fig. 5.25 apresenta-se a planta simplificada dos elementos reconhecidos, apresentados detalhadamente no Anexo IV.C.

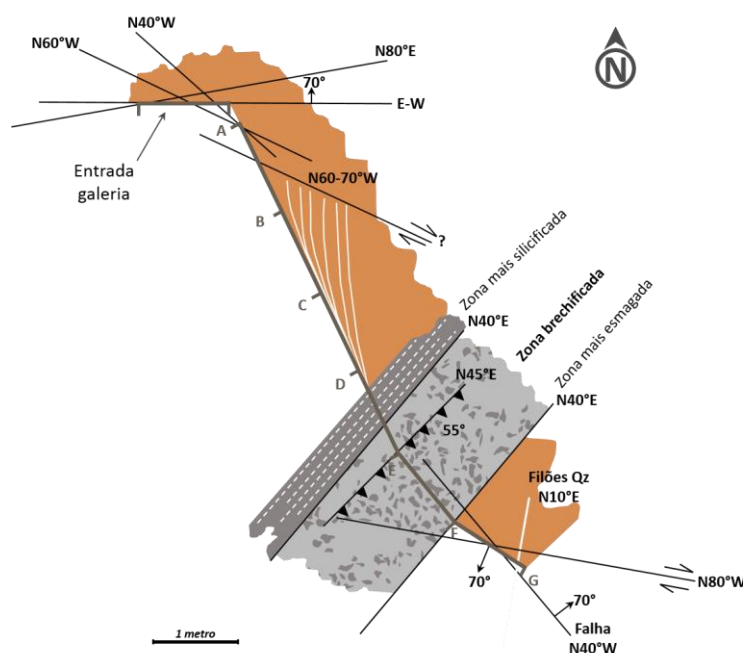


Fig. 5.25. Representação em planta dos elementos geológicos reconhecidos em Vale Pião.

As características mais relevantes do reconhecimento realizado são: a estrutura brechificada de direcção aproximada N40°E, os cisalhamentos direitos N80°W a N60-70°W, os filões de quartzo de rumo norteado e o facto de as estruturas parecerem indicar ser afectadas por um acidente de direcção semelhante à do afloramento (NNW-SSE). Apesar de no afloramento estudado não ter sido possível medir S0 devido ao sub-parallelismo entre as estruturas e o corte em análise, à entrada da galeria (*vide* Fig. 5.25)

foi possível medir $S_0 \equiv S_1 = N60^\circ W, 90^\circ$. Na Fig. 5.26 podem ver-se, em pormenor, alguns dos elementos reconhecidos.

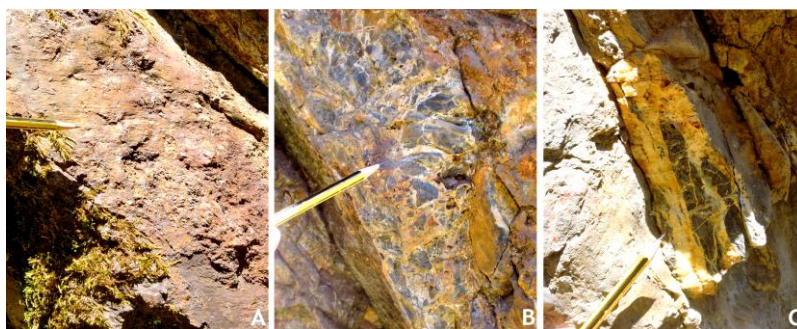


Fig. 5.26. (A) Estrias horizontais em plano $N80^\circ W$; (B e C) Estrutura brechificada e stockwork associado.

Como foi exposto no Capítulo 2, as principais estruturas mineralizadas de interesse em Vale Pião podem dividir-se em três grupos: (1) brechas principais, instaladas em corredores de cisalhamento sensivelmente NNE-SSW a NE-SW; (2) brechas secundárias, NNW-SSE, WNW-ESE e E-W; (3) filões quartzosos subverticais e sub-horizontais, de direcções semelhantes às das brechas.

Comparando as informações recolhidas na bibliografia com os resultados dos trabalhos de campo, evidencia-se que as estruturas mais importantes foram identificadas ou inferidas através dos trabalhos realizados: o corredor brechificado, cuja direcção medida foi de $N40^\circ E$, corresponderá a uma das brechas principais; o facto de as estruturas aflorantes serem afectadas por um acidente NNW-SSE não aflorante pode indicar uma possível relação com os cisalhamentos de direcção semelhante e com os quais se encontram associadas brechas secundárias; e por fim, foram identificados filões de quartzo de direcção aproximada N-S.

Assim, apesar das dimensões relativamente diminutas do afloramento estudado ($\sim 6m$), facilmente se percebe a sua importância na medida em que foi possível identificar as principais estruturas relacionadas com as mineralizações e com alguns dos acidentes que as afectam.

Para além das estruturas referidas, foi reconhecido um alinhamento geomorfológico praticamente N-S, correspondente a um troço da ribeira da Sandinha (Fig. 5.27). Digno de menção é o facto de não se conhecerem trabalhos mineiros antigos na margem leste desta ribeira, o que levará a querer que esta se encontra instalada sobre um acidente tectónico que poderá ter influência importante sobre os corpos mineralizados.



Fig. 5.27. Troço da ribeira da Sandinha, alinhado N-S.

A interpretação preliminar de lineamentos possibilitou a identificação da uma confluência de lineamentos com várias direcções na zona de Vale Pião: NW-SE, NNW-SSE e NE-SW a NNE-SSW. Os trabalhos de campo confirmaram a existência de uma série de

estruturas em todas estas direcções, porém, apesar da correspondência entre algumas das direcções de lineamentos identificados e as estruturas mineralizadas, a complexidade do jazigo e das estruturas que o afectam (*vide* 2.2.1.) não permitem, nesta fase, a atribuição de um significado específico aos lineamentos detectados.

Escádia Grande

Junto à entrada de uma galerias da antiga mina de Escádia Grande foi possível reconhecer: $S_0 \equiv S_1 = N30-40^\circ W, 60^\circ NE$; alternância rítmica entre camadas declaradamente grauvaquídes e xistos cinzentos (Fig. 5.28, A); filões com preenchimento de quartzo, com espessura de 0,5 a 1cm e atitudes diversas ($N20^\circ W, 65-70^\circ NE$; $N45^\circ W, 60^\circ NE$; $N50-60^\circ W, 20-30^\circ$). Na entrada de uma outra galeria, dois pisos abaixo da anterior, foi reconhecido um filão de quartzo com 1-1,5m de possança e de atitude $N50-60^\circ W, 60^\circ NE$ (Fig. 5.28, B).

Das metodologias aplicadas resultou que à área envolvente à mina de Escádia Grande poderia estar associados lineamentos: (1) $N30^\circ W$ e $N60^\circ W$, de carácter mais localizado; (2) $N60^\circ E$, $N70^\circ E$ e $N80^\circ E$, identificados ao longo de extensões mais significativas e possivelmente indicando relação com outras ocorrências auríferas conhecidas. Enquanto os trabalhos de campo e as referências bibliográficas parecem indicar que os lineamentos referidos em (1) podem ser atribuídos tanto à estratificação, como a filões (mineralizados e não) ou a falhas importantes, a família de lineamentos incluídos em (2) não foi reconhecida no campo mas poderá estar relacionada com os acidentes terciários NE-SW (Cerveira, 1946) ou com as fracturas ENE-WSW (Santos Oliveira, 1990) que fazem parte de um dos sistemas dominantes que afectam o jazigo.



Fig. 5.28. (A) Alternância rítmica entre camadas de grauvaques e xistos cinzentos;
(B) Filão de quartzo com 1-1,5m de possança e de atitude $N50-60^\circ W, 60^\circ NE$.

Na Fig. 5.29 resumem-se os principais dados recolhidos nos vários sectores, devidamente exagerados de modo tornar a sua expressão cartográfica mais evidente.

As observações realizadas no terreno permitem, então, indicar uma série de conclusões pertinentes e concordantes com as fontes bibliográficas:

(1) verificou-se que as direcções NW-SE se encontram associadas a S_0/S_1 e cisalhamentos/falhas; todas estas direcções estarão relacionadas com a estruturação

varisca, correspondendo ao rumo das mineralizações Sn-W de Senhora da Guia, a algumas de Vale Pião e ainda às de Au-Ag de Escádia Grande;

(2) as direcções NE-SW são evidenciadas por falhas e fracturas que deverão estar relacionadas com as grandes estruturas como falha de Lousã e de Cebola; associadas a estas direcções, há que destacar as brechas estano-volframíticas e com ouro acompanhante, cujos exemplos mais importantes são as estruturas de Vale Moreiro-Casal Loureiro e Vale Pião;

(3) as direcções NNE-SSW encontram-se representadas por falhas e fracturas; o facto ao longo destas direcções se encontrar parte importante das mineralizações auríferas conhecidas (faixa Au-Ag Vieiro-Fonte Limpa) permitirá supor uma possível relação com os sistemas de fracturação de Vilariça e de Chaves-Régua.

Apesar de, na sua maioria, os resultados da interpretação dos produtos derivados da imagem Landsat 8 e do MDE terem sido validados em campo, ou, de um ponto de vista mais conservador, se terem reconhecido estruturas geológicas *in situ* de direcção e localização coincidentes com muitos dos lineamentos detectados, o objectivo final da presente dissertação é a selecção de áreas possivelmente relacionadas com ocorrências minerais, pelo que se teve como necessária uma reavaliação dos resultados apresentados.

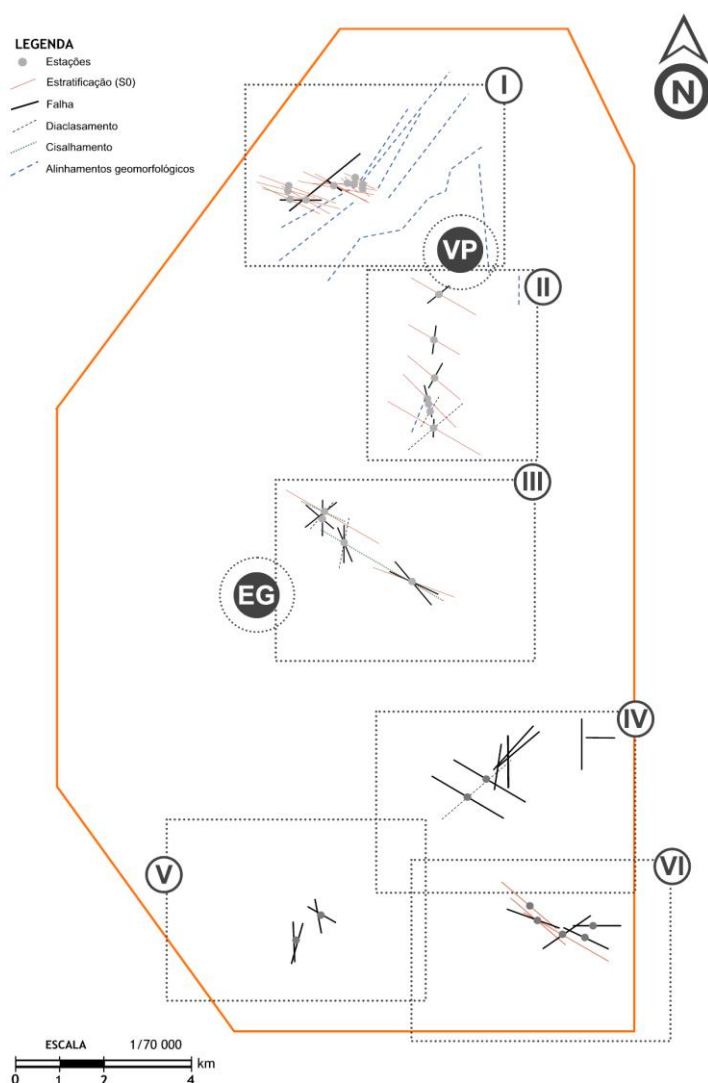


Fig. 5.29. Principais dados recolhidos durante os trabalhos de campo.

5.4. Reinterpretação de lineamentos

5.4.1. Lineamentos identificados a partir da imagem Landsat 8

Da reinterpretação de lineamentos detectados a partir do processamento da imagem de satélite resultou a Fig. 5.30. Na Tabela 5.4 pode ver-se número de lineamentos detectados nas diferentes bases de cada interpretação.



Fig. 5.30. Reinterpretação de lineamentos detectados a partir do processamento da imagem de satélite.

Tabela 5.4. Lineamentos identificados a partir do processamento da imagem de satélite.

Fonte de interpretação	Escala	Ocorrência	Nº lineamentos	Nº lineamentos total
Filtros direccionais – rácios	Regional	Observado	100	512
		Provável	70	
	Local	Observado	316	
		Provável	26	
Composições RGB	Regional	Observado	212	963
		Provável	82	
	Local	Observado	606	
		Provável	59	
Filtros direccionais – B6	Regional	Observado	135	616
		Provável	112	
	Local	Observado	311	
		Provável	58	

Os lineamentos de escala regional surgem maioritariamente coincidentes nas três fontes utilizadas. A interpretação com base nas composições RGB parece ser a que permite a obtenção de lineamentos mais *naturais*, isto é, mais curtos e irregulares, mas cujas direcções são bastante persistentes. Os resultados da aplicação de filtros direccionais sobre a B6 permitiram a detecção de lineamentos mais contínuos do que os das composições coloridas, mas igualmente satisfatórios. Das três fontes utilizadas, a aplicação de filtros direccionais sobre diferentes rácios terá sido a que forneceu resultados mais pobres, pelo menos no que toca ao número de lineamentos identificados, uma vez que as principais direcções são semelhantes às outras interpretações.

No que se refere à escala local, as três interpretações realizadas aparentam ser praticamente complementares, apresentando, juntas, uma interpretação de grande pormenor e com direcções preferenciais muito bem definidas.

5.4.2. Lineamentos identificados sobre a imagem de relevo sombreado

Da reinterpretação de lineamentos detectados a partir imagens de relevo sombreado resultou a Fig. 5.31. Na Tabela 5.5 são apresentados os resultados sob a forma numérica.

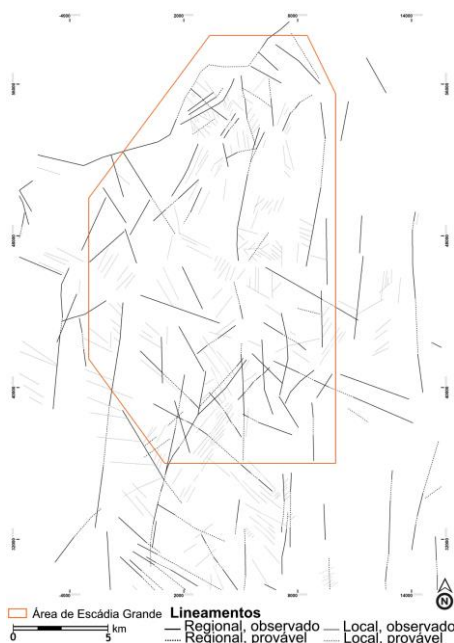


Fig. 5.31. Reinterpretação de lineamentos detectados a partir das imagens de relevo sombreado.

Tabela 5.5. Lineamentos identificados a partir das imagens de relevo sombreado.

Escala	Ocorrência	Nº lineamentos	Nº lineamentos total
Regional	Observado	136	517
	Provável	82	
Local	Observado	259	
	Provável	40	

A classificação dos lineamentos e um maior detalhe na sua interpretação permitiram melhorias significativas em relação aos resultados da interpretação preliminar, apresentada anteriormente. Para além de as estruturas regionais terem ficado de sobremaneira evidentes, as de escala local permitiram obter resultados mais próximos da realidade, reflectindo a *textura* do terreno e as condicionantes geológicas que estarão na sua origem.

5.4.3. Fusão de lineamentos identificados

Uma última fase de reinterpretação de lineamentos foi necessária para proceder à fusão dos elementos detectados a partir dos diferentes métodos aplicados. Assim, com base nas interpretações prévias, nos dados de campo e utilizando imagens de satélite de elevada resolução espacial (ArcGIS *online*), foi possível obter um único mapa final de lineamentos (Fig. 5.32).

Esta última interpretação incluiu a detecção de um total de 1894 lineamentos, classificados tal como se pode observar na Tabela 5.6.

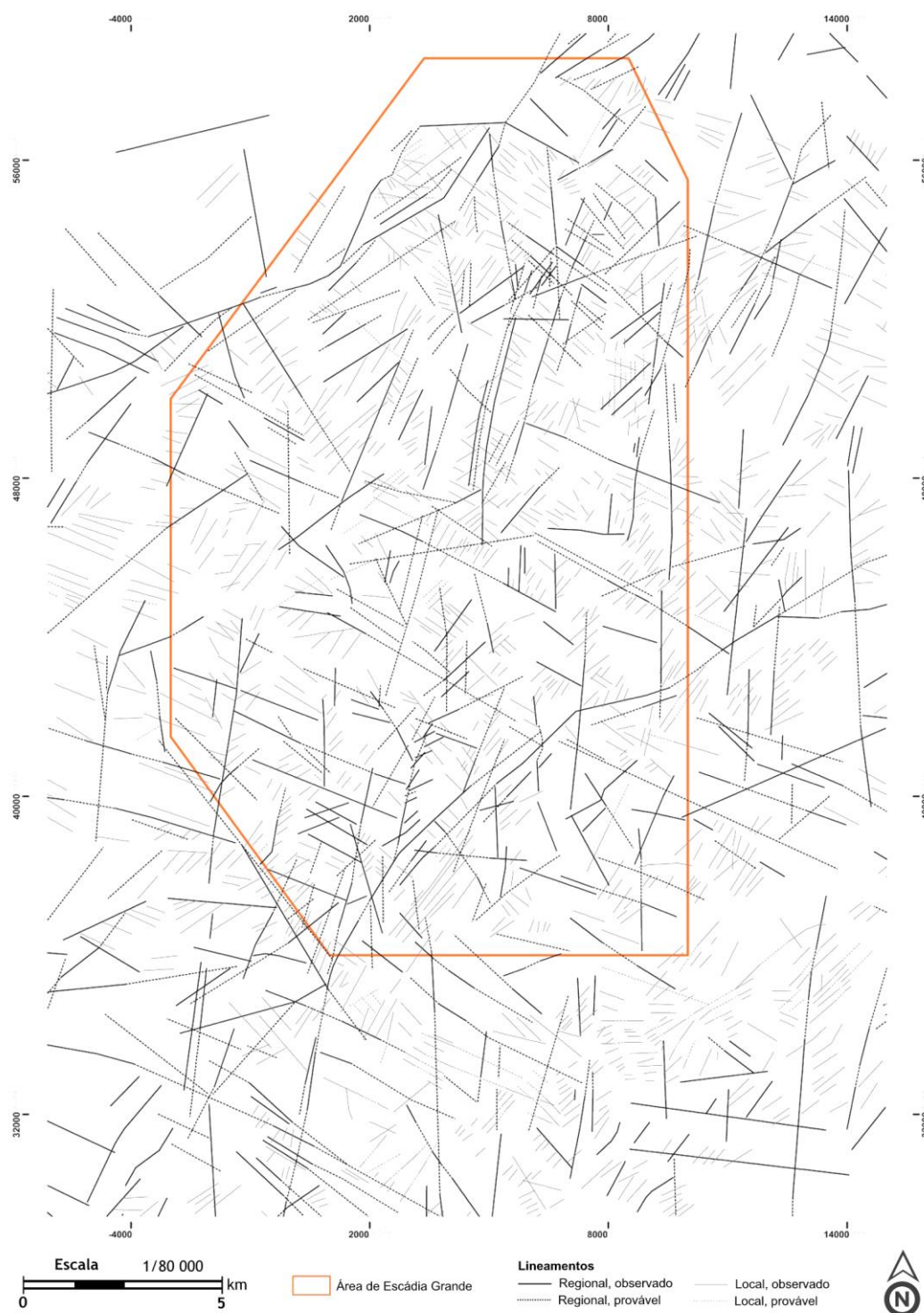


Fig. 5.32. Lineamentos identificados, resultantes da fusão de todas as interpretações realizadas.

Tabela 5.6. Lineamentos identificados (após fusão de todas as interpretações dados).

Escala	Ocorrência	Nº lineamentos	Nº lineamentos total
Regional	Observado	352	1894
	Provável	292	
Local	Observado	1151	
	Provável	99	

Ao contrário de Andrade & Conde (1976) e de Andrade (1983), que identificaram na região em estudo algumas estruturas circulares, tanto na zona do SGDB, como nas bacias meso-cenozóicas, os métodos utilizados nesta dissertação não permitiram a detecção de quaisquer estruturas semelhantes. Nos trabalhos de campo realizados também se procurou verificar a existência das referidas estruturas, contudo, exceptuando algumas elevações correspondentes a cabeceiras de linhas de água, não foram efectuadas observações que permitissem identifica-las.

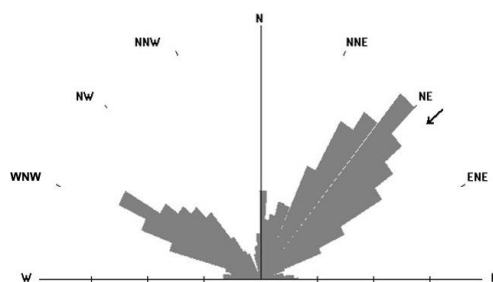


Fig. 5.33. Diagrama de roseta dos lineamentos representados na Fig. 5.32.

A apresentação das direcções de todos os lineamentos detectados sob a forma de diagrama de roseta (Fig. 5.33) permite evidenciar o predomínio das direcções NE-SW. Tal como se viu em 2.2., estas direcções estão fundamentalmente associadas a deformações tardi-variscas (D4), algumas com possível relação com estruturas mineralizadas (brechas Sn-W do sector de Góis) e outras possivelmente retomadas pela orogenia alpina e actividade neotectónica, tendo afectado a maioria dos jazigos conhecidos na região em estudo.

A segunda gama de direcções mais representadas é WNW-ESE e estará associada às deformações variscas (D1-D4), o que tende a confirmar que é esta que controla alguns dos aspectos estruturais mais penetrativos da geologia da região. Esta é, também, a direcção atribuída às mineralizações volframíticas mais antigas de Senhora da Guia, a algumas das mineralizações de Vale Pião e também às de Escádia Grande.

As direcções menos expressivas dos lineamentos detectados foram, respectivamente, N-S e E-W, ambas relacionadas com a deformação frágil mais recente. De acordo com o exposto em 2.2., à direcção N-S estará associada a estrutura que controla a faixa auro-argentífera Vieiro-Fonte Limpa.

Os dados obtidos podem ser considerados relativamente semelhantes aos de Andrade (1985) – Anexo I.A. –, levando, claro, em consideração as dimensões distintas entre as áreas analisadas.

A observação da Fig. 5.34, na qual se apresentam os lineamentos detectados divididos em classes de 30°, permite corroborar as observações relativas ao diagrama de rosetas. O intervalo N30-60°E surge, assim, como aquele que contém mais lineamentos detectados (704), seguindo-se os intervalos N30-60°W e N60-90°W (com 310 e 322 lineamentos, respectivamente), o intervalo N0-30°E (298 lineamentos), N60-90°E (168 lineamentos) e, por fim, a as direcções menos detectadas (92 lineamentos) surgem no intervalo N0-30°W.

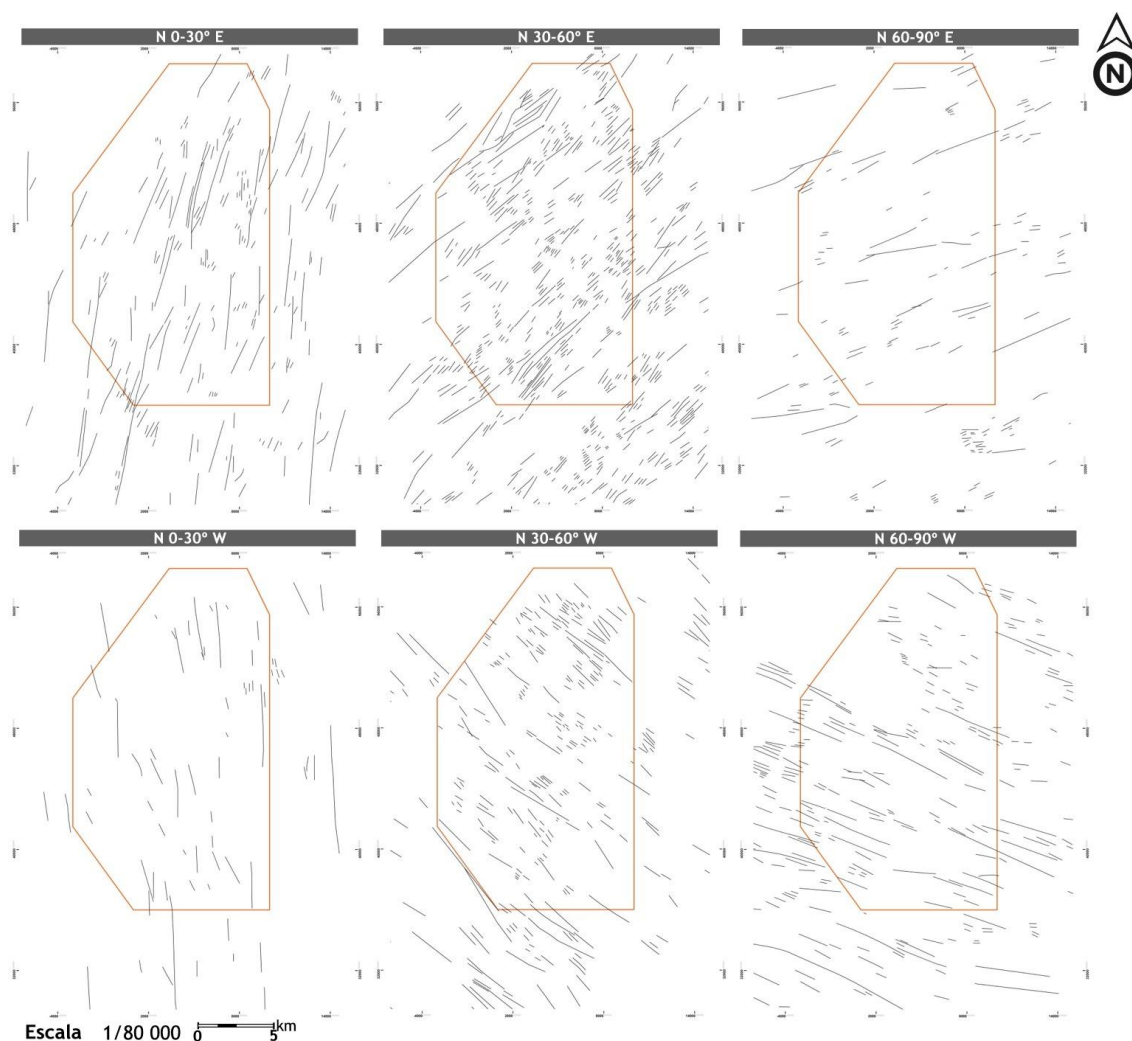


Fig. 5.34. Lineamentos detectados, filtrados em classes de azimuth de 30°.

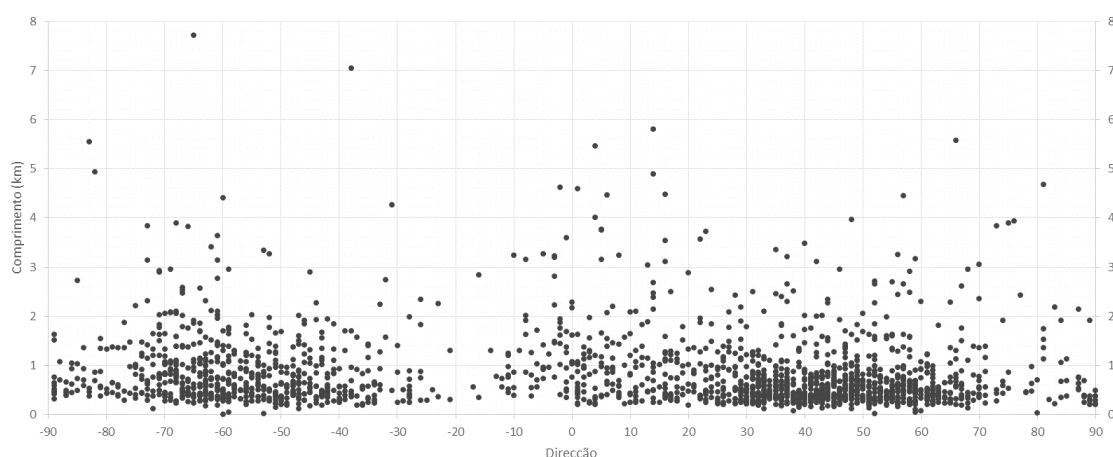


Fig. 5.35. Diagrama de dispersão do comprimento dos lineamentos detectados e respectivos azimutes (projectados para os quadrantes I e II)

A análise da Fig. 5.35, na qual se apresenta sobre a forma de diagrama de dispersão os comprimentos dos lineamentos detectados e as respectivas direcções, permite verificar que a maioria dos elementos possui extensão inferior a 1km, simultaneamente indicando a não existência uma relação directa entre ambas as variáveis. Contudo, pode afirmar-se existir uma predominância dos lineamentos mais extensos (maiores do que 3km) em três conjuntos principais: N60-75°W, N10°W a N15°E e N30-75°E.

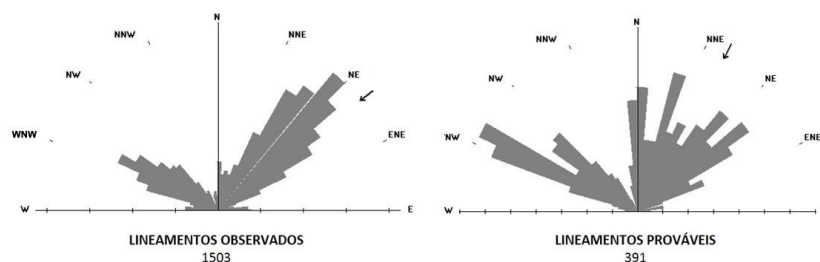


Fig. 5.36. Diagramas de roseta dos lineamentos observados e prováveis.

Pela análise dos diagramas apresentados na Fig. 5.36 facilmente se verifica a semelhança entre os lineamentos observados e o diagrama de todos os lineamentos detectados (Fig. 5.33). Dos 1894 lineamentos detectados, 1503 (79%) foram efectivamente observados e apenas 391 (21%) receberam a classificação de prováveis. Lembre-se que a classificação como «provável» não implica que o lineamento identificado não tenha significado, mas apenas que os dados que serviram de base à interpretação não permitiam confirmar de forma inequívoca a sua existência.

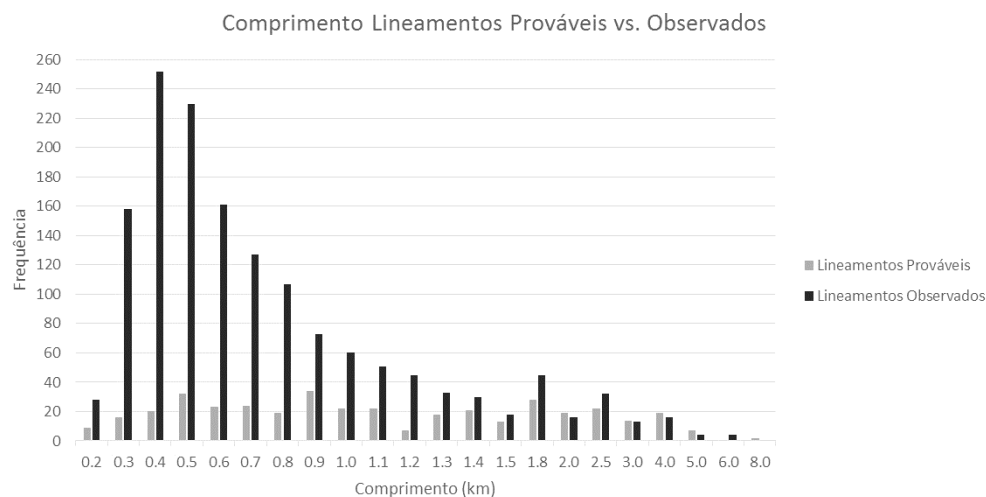


Fig. 5.37. Comprimento dos lineamentos observados vs. prováveis.

O gráfico da Fig. 5.37 permite verificar que a classificação dos lineamentos como «observados» diminuiu de um modo geral com o aumento do comprimento do mesmo. Este é um resultado esperado uma vez que, quanto maior a distância considerada, maior a incerteza do prolongamento de determinado lineamento no espaço. Por outro lado, o gráfico também permite verificar que a classificação de lineamentos «prováveis» foi de magnitude constante para todos os comprimentos, não tendo sido, por isso, condicionada pela extensão da estrutura. Este último apresenta-se como um resultado menos próximo do esperado precisamente pelo motivo evocado anteriormente. Contudo, mesmo sendo inesperado, este resultado demonstra que a classificação como «provável» foi exclusivamente dependente dos dados da informação de base e não da interpretação sobre eles realizada.

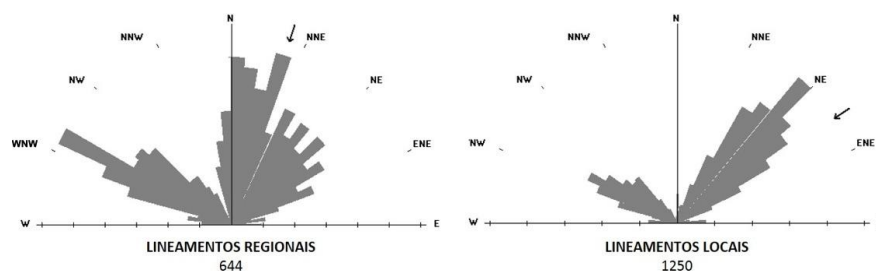


Fig. 5.38. Diagramas de roseta dos lineamentos regionais e locais.

Analisando a Fig. 5.38, de novo surge evidente a semelhança entre um dos diagramas – lineamentos locais - e o diagrama de todos os lineamentos detectados (Fig. 5.33). A maioria dos lineamentos foi classificada como «local» (66%), representando duas das famílias de direcções mais evidentes: NE-SW e WNW-ESSE, sendo a primeira mais significativa. Já os lineamentos «regionais» (34%) são representados por duas famílias mais expressivas e de direcções melhor definidas (WNW-ESSE e N-S a NNE-SSW) e uma terceira família, correspondente a um leque de direcções mais variado (NNE-SSW a ENE-WSW).

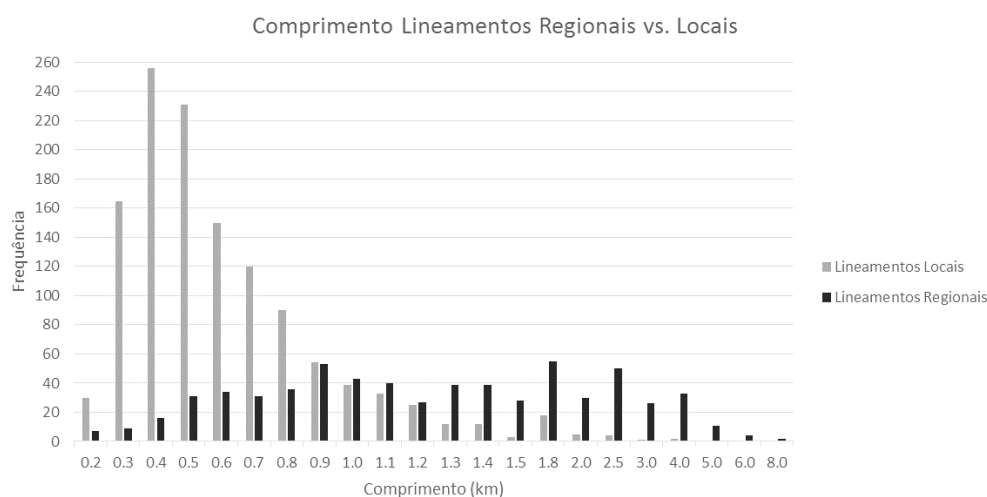


Fig. 5.39. Comprimento dos lineamentos regionais vs. locais.

Examinando a Fig. 5.39 verifica-se que as dimensões dos lineamentos «locais» se concentram entre os 300-600m, diminuindo consideravelmente a partir daí. Por outro lado, o comprimento dos lineamentos «regionais» distribui-se de forma bastante mais homogênea, surgindo com frequência ligeiramente superior aos 900m e entre 1.300-2.500m. Este mesmo gráfico permite, ainda, verificar algumas imprecisões no que se refere à classificação regional/local, facto que resulta essencialmente da sobreposição existente entre as duas classes no intervalo 900-1.200m. Do mesmo modo, tendo apenas por base a análise gráfica e não os critérios base utilizados aquando da interpretação realizada, pode considerar-se, por exemplo, que a atribuição da classificação «local» a lineamentos com comprimentos superiores a 1.500m pode ser errónea.

Assim se conclui que, apesar de a classificação realizada ter apresentado resultados consistentes, haverá lugar a melhorias no que toca à classificação atribuída aos lineamentos, em especial no que respeita a definição regional/local.

5.4.4. Mapa de densidade de lineamentos

Com base no mapa final de lineamentos, foi construído o mapa de densidades (Fig. 5.40). Os valores apresentados foram filtrados de modo a incluir apenas valores de densidade superiores a $3\text{km}/\text{km}^2$.

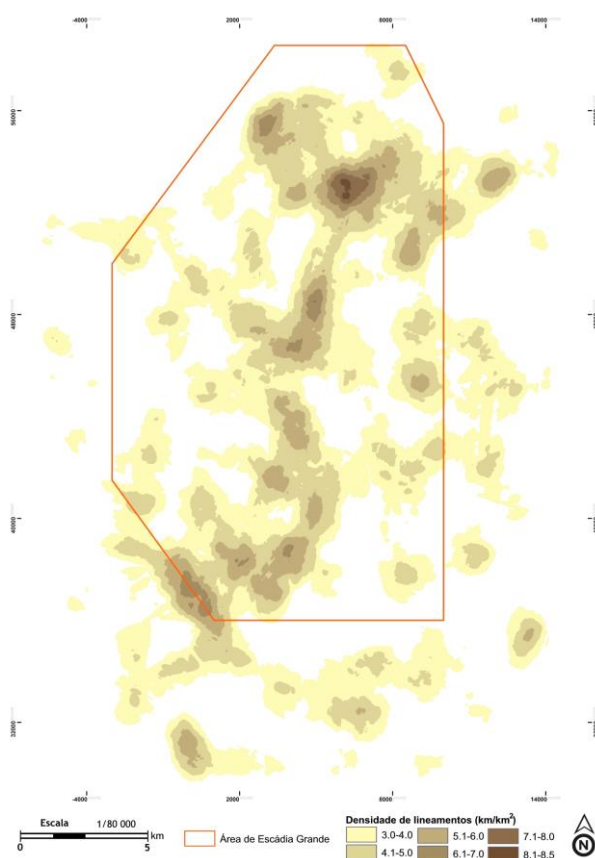


Fig. 5.40. Mapa de densidade de lineamentos.

A análise do mapa produzido permite verificar que as maiores densidades de lineamentos se concentram no interior da área de prospecção e pesquisa de Escádia Grande. Evidencia-se um grande alinhamento NNE-SSW das densidades, assim como vários outros, mais ou menos expressivos, de direcção aproximada NW-SE. Os valores mais elevados de densidade concentram-se em três regiões distintas, duas delas na metade norte da área (junto a Góis e a Vale Pião-Cadafaz), e outra junto ao limite SW da área de Escádia Grande.

Apesar de algumas destas áreas de maior densidade de lineamentos poderem estar associadas a regiões mais tectonizadas, tanto a comprovação deste pressuposto como a verificação da relação com potenciais mineralizações só poderá ser realizada através da integração dos resultados com dados provenientes de diferentes fontes.

5.5. Integração de dados

Tendo em consideração os critérios definidos no Capítulo 4 para a selecção de potenciais áreas de prospecção (geologia, mineralizações conhecidas, lineamentos detectados, radiometria e toponímia), procedeu-se ao levantamento e integração dos respectivos dados em ambiente SIG.

5.5.1. Lineamentos e geologia

Com o intuito de avaliar a qualidade dos resultados da interpretação de lineamentos, estes foram integrados com os elementos de cartografia geológica actualmente disponíveis.

Pode afirmar-se, de um modo geral, que os resultados obtidos apresentam uma concordância de grande pormenor com as estruturas que se encontram cartografadas e referidas na bibliografia (Fig. 5.41).

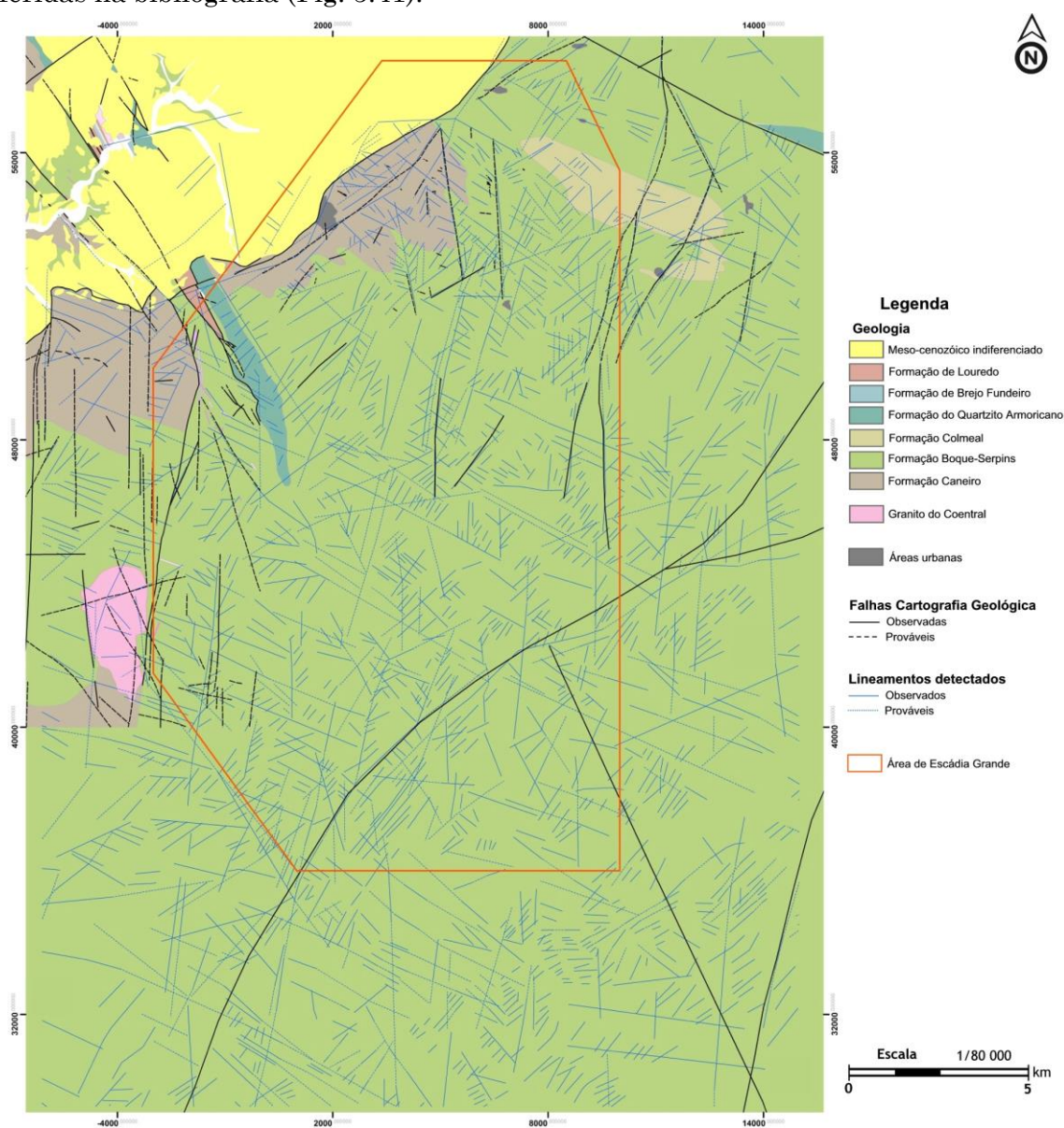


Fig. 5.41. Lineamentos detectados sobrepostos à cartografia geológica.

A falha de Lousã e estruturas associadas foram identificadas em praticamente toda a extensão correspondente à área de estudo. De facto, as principais diferenças entre a

cartografia publicada e a interpretação realizada prendem-se com a identificação de uma série de estruturas paralelas à falha principal, situação que se poderá dever ao facto de os lineamentos detectados terem resultado da análise a escalas maiores. Tanto os dados de campo com as análises de detecção remota permitem avançar que a falha Piães-Senhora da Guia não será de rumo tão uniforme como o cartografado, mas sim composta por dois ramos principais de direcções N60°E e N30-40°E, que se intersectam na zona da capela de Nossa Senhora da Guia.

A falha de Cabreira foi reconhecida e, de acordo com os resultados obtidos, poderá prolongar-se para E, saindo da área de prospecção e pesquisa de Escádia Grande. Os acidentes N0-10°W no bloco a N da falha de Cabreira foram, também eles, observados.

Identificou-se uma série de estruturas NNE-SSW que cortam a Formação Colmeal, assim como uma família de lineamentos NW-SE que poderá estar associada às dobras desta formação.

O contacto oriental entre o SGDB e as cristas quartzíticas foi identificado, assim como pequenos troços do respectivo contacto a ocidente. A interpretação realizada não permitiu identificar os acidentes N-S que seccionam a Formação Caneiro a W, assim, como não se identificou a falha de Safra.

Foi identificada uma série de lineamentos que terão correspondência com a falha de Cebola. A continuidade desta falha para SE não correspondeu aos dados da cartografia, indicando os lineamentos interpretados um controlo mais NNE-SSW. Este facto, assim como a identificação de um importante conjunto de lineamentos com a mesma direcção a N da falha de Cebola, parece suportado pelas afirmações de Gama Pereira *et al.* (2004) e Ribeiro *et al.* (1979) apresentadas em 2.1.6.

Tal como anteriormente apresentada, a análise das direcções dos lineamentos detectados permitirá avançar que estes apresentam um significado geológico válido.

Tendo a interpretação realizada permitido a identificação da maioria das estruturas já cartografadas, na totalidade ou em porções consideráveis da devida extensão, considerando, claro está, as diferenças de escalas envolvidas e o facto de muitos dos lineamentos ou respectivas direcções terem sido efectivamente detectados nos trabalhos de campo, confirma-se a eficiência dos métodos aplicados e a respectiva fiabilidade. Conclui-se, assim, que o mapa de lineamentos detectados remotamente possui fiabilidade a suficiente para que seja utilizado como informação de base para avaliação mais detalhada de toda a região em estudo.

5.5.2. Lineamentos e mineralizações

A sobreposição dos lineamentos detectados com as mineralizações identificadas na bibliografia (Fig. 5.42) permite tecer algumas considerações relevantes relativas a estas ocorrências.

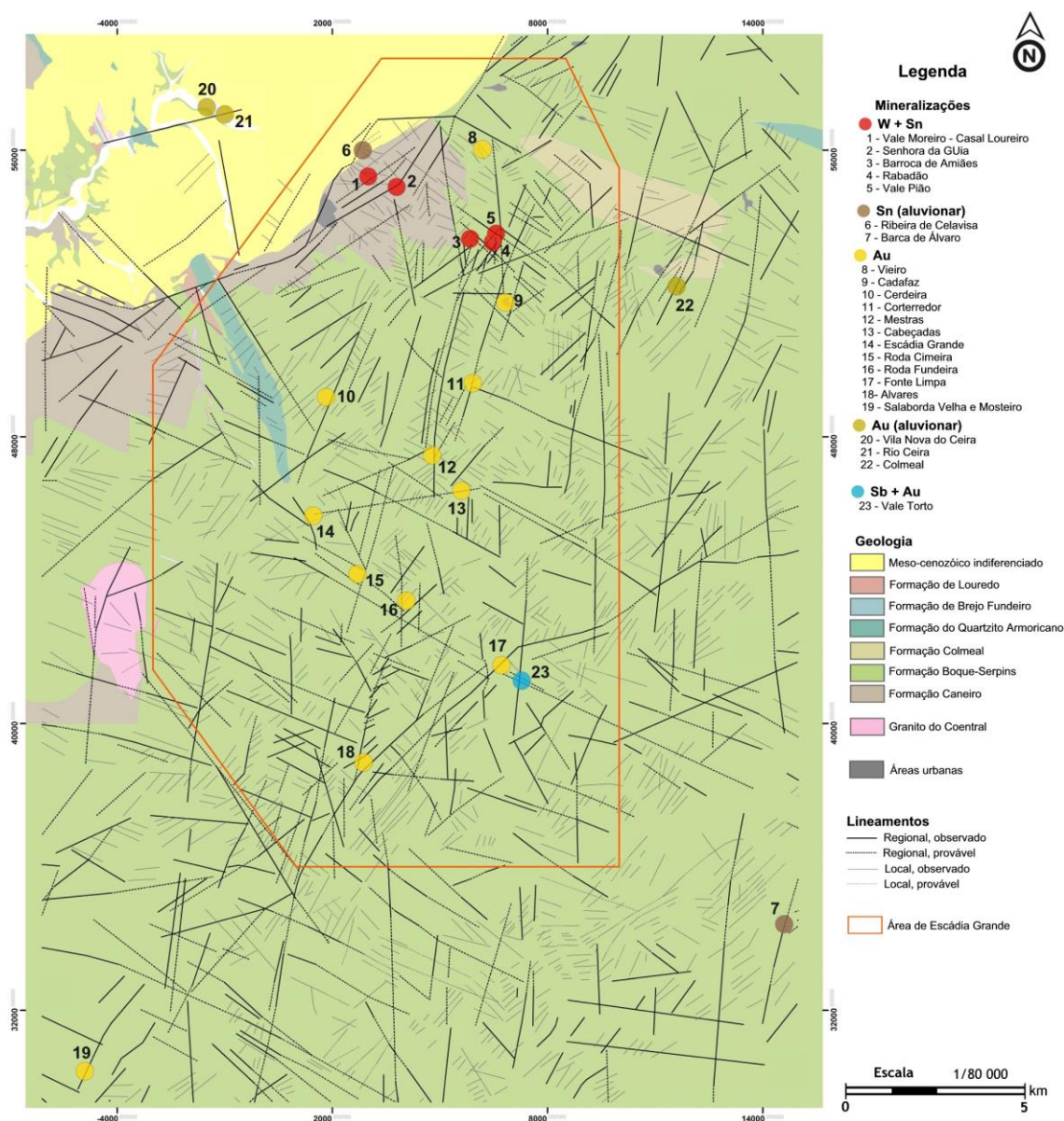


Fig. 5.42. Lineamentos detectados e mineralizações conhecidas.

É importante mencionar o sectionamento do sector Sn-W de Góis por acidentes sub-paralelos à falha de Lousã, tal como, de resto, é referido na bibliografia. Os lineamentos desta família, detectados no sector de Góis, estendem-se até à zona das cristas quartzíticas, pelo que, a existirem mineralizações para SW das conhecidas, serão certamente condicionadas por esta família, possivelmente definindo a mesma geometria em blocos desnivelados.

As quatro direcções de lineamentos que se cruzam na zona entre Vale Pião e Cadafaz (*vide* 4 e 9 - Fig. 5.42) poderão ter alguma relação com eventuais mineralizações. Enquanto os rumos norteados parecem ter estreita relação com as mineralizações de ouro, os lineamentos NW-SE e NE-SW poderão estar relacionados com mineralização Sn-W.

Em relação à ocorrência de Vieiro (*vide* 8 - Fig. 5.42), a única auro-argentífera conhecida a norte da falha de Cabreira, parece estar associada a um lineamento N5°W, com possível prolongamento até Cadafaz. Não foram detectados quaisquer lineamentos N-S que pudessem indicar o desenvolvimento de uma faixa metalífera contínua entre Vieiro e Fonte Limpa. A detecção de um lineamento N10°W passando junto a Senhora da Guia (*vide* 2 - Fig. 5.42) poderá ser importante na medida em que poderá a ele ter associadas mineralizações tanto Sn-W como Au-Ag.

Entre Cadafaz e Mestras-Cabeçadas (*vide* 9-12-13 - Fig. 5.42), com possível prolongamento até Alvares (*vide* 18 - Fig. 5.42), uma série de estruturas identificadas, com direcção média N15°E, parece indicar a existência de um controle importante das mineralizações auro-argentíferas e que ao qual não se encontraram quaisquer referências anteriores.

Os únicos lineamentos identificados junto à Escádia Grande (*vide* 14 - Fig. 5.42) não terão relação directa com a estrutura mineralizada, mas sim com os sistemas de fracturação NNW-SSE e ENE-WSW que a afectam. Apesar de tudo, entre Escádia Grande e Fonte Limpa foi detectado um conjunto de lineamentos cuja posição e direcção (NW-SE) poderão indicar uma possível relação com a referida faixa Au-Ag. De notar, ainda, que se identificaram conjuntos de estruturas de direcção semelhante, tanto para N como para S da faixa metalífera e que, junto ao cruzamento entre esta família e os lineamentos N15°E surgem diversas ocorrências Au-Ag. Assim, os locais correspondentes à intersecção de lineamentos com estes dois rumos poderão ter especial interesse.

Entre as ocorrências de Fonte Limpa e Vale Torto (*vide* 17 e 23 - Fig. 5.42) foi identificado um extenso lineamento N5°E, que poderá estar associado ao ouro.

Segundo o SIORMINP (2015), a ocorrência aurífera de Salaborda Velha e Mosteiro (*vide* 19 - Fig. 5.42) é constituída por brechas quartzíferas orientadas aproximadamente E-W, produzidas por falhas inversas no interior da ZCPTC. Não foram identificados quaisquer lineamentos com direcção semelhante neste local.

Por fim, há que alertar para o facto de as ocorrências aluvionares de Colmeal e de Barca de Álvaro (*vide* 7 e 22 - Fig. 5.42), de ouro e de estanho, respectivamente, se encontrarem nas proximidades de lineamentos de direcção muito bem definida. Estes lineamentos detectados, não deverão, todavia, estar relacionados com uma eventual fonte primária dos metais na medida em que não é comum a sua concentração a distâncias tão curtas como as verificadas. Esta situação poderá ser verificada, por exemplo, através da caracterização morfológica dos grãos de ouro. Assim, sem acesso a outros dados, a única conclusão que se poderá tirar é a de que as concentrações aluvionares dos referidos metais poderão ter origem em armadilhas estruturais, condicionadas por estruturas representadas pelos lineamentos identificados.

5.5.3. Lineamentos e radiometria

Na Fig. 5.43 apresenta-se a sobreposição das mineralizações e lineamentos detectados sobre os mapas radiométrico e o mapa de densidade de lineamentos. Tal como se expôs em 3.4., a radiação gama medida à superfície pode estar intimamente relacionada com o grau de fracturação do maciço e com a existência de uma fonte radioactiva em profundidade. Uma vez que se supõe existir granito não aflorante sob as formações xistos-grauváquicas do SGDB na região em estudo, a existência simultânea de picos elevados de radiação e de densidades de fracturação elevada pode indicar a localização de uma massa granítica subjacente. Por outro lado, as medições mais elevadas de radiação gama também poderão estar relacionadas com os próprios materiais aflorantes ou sub-aflorantes, nomeadamente xistos negros e rochas sedimentares siliciclásticas provenientes da erosão de rochas ígneas (arcoses).

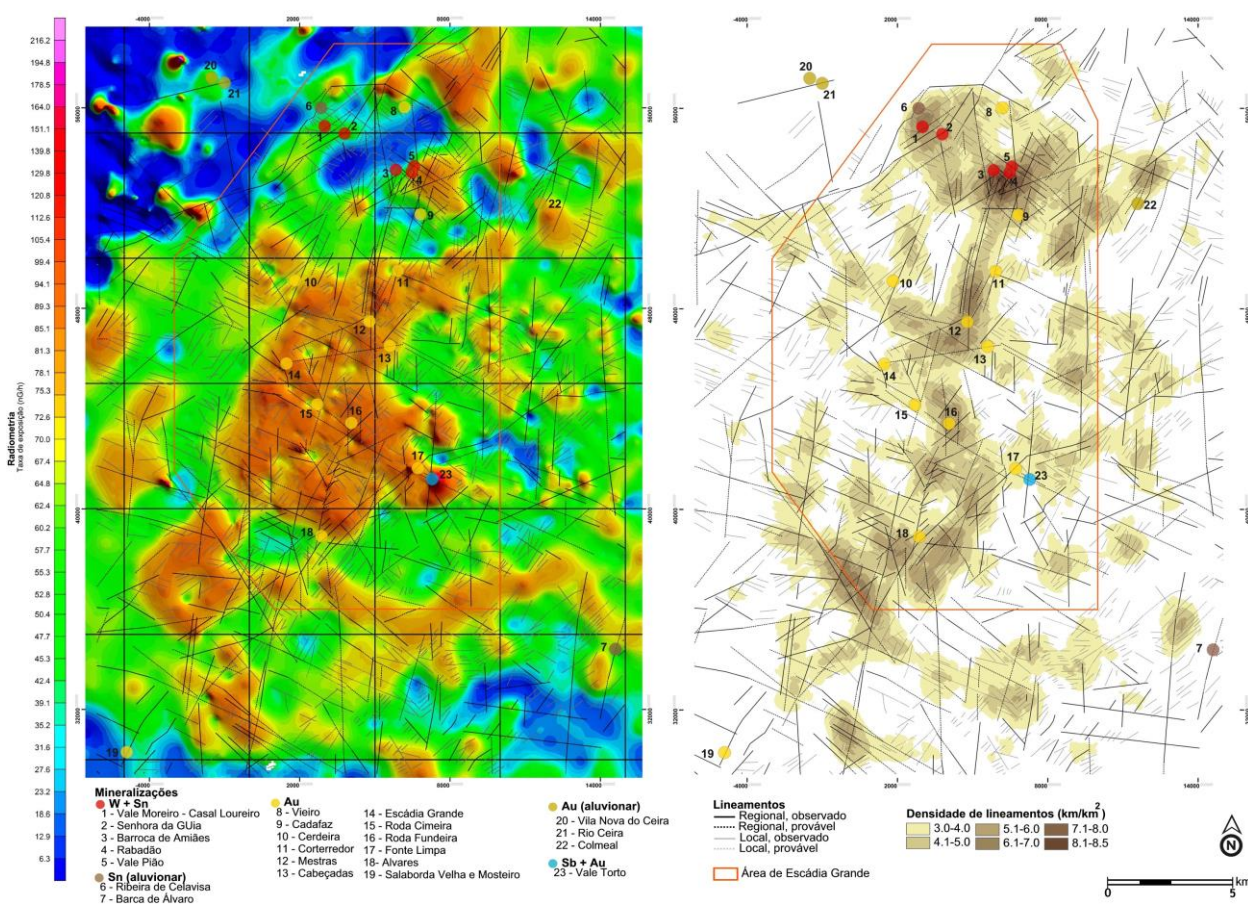


Fig. 5.43. Lineamentos detectados sobrepostos ao mapa radiométrico e ao mapa de densidade de lineamentos.

Da apreciação do mapa radiométrico da região em estudo facilmente se evidencia a existência de uma concentração de valores de radiometria relativamente elevados e de proporções consideráveis. O facto de esta anomalia surgir bordejada por lineamentos muito bem definidos, tanto a NW como a SE (falha de Cebola), e de estar associada também a um expressivo alinhamento NNE-SSW da densidade de lineamentos detectados, poderá indicar que esta é causada por uma intrusão granítica. A ser, de facto uma massa granítica, esta não deverá estar relacionada com o granito de Coentral (note-se respectiva a fraca expressão radiométrica junto ao limite ocidental da área de Escádia Grande), existindo maiores probabilidades de estar relacionada as fases hercínicas mais recentes e, por isso, a uma possível origem das mineralizações. É, também, digno de menção, o facto de todas as mineralizações Au-Ag a sul de Cadafaz estarem associadas a estes valores de

radiometria elevada e de os lineamentos NNE-SSE intersectarem mineralizações conhecidas e picos radiométricos.

Tal como se referiu anteriormente, a zona entre Vale Pião-Cadafaz (*vide* 4-9, Fig. 5.43) corresponde à intersecção de quatro direcções principais de lineamentos, facto que acaba por lhe conferir a maior densidade de lineamentos em toda a região em estudo. Esta mesma zona corresponde também a uma anomalia radiométrica de valores mais elevados e de dimensões apreciáveis. Assim, tendo ainda em consideração os resultados da prospecção geofísica expostos em 2.1.5., tudo aponta para a maior probabilidade de existência de uma cúpula granítica não aflorante nesta zona, à qual poderão estar associadas mineralizações tanto Sn-W como Au-Ag.

Outro local de elevada densidade de lineamentos identificado foi a fronteira SW da área de prospecção e pesquisa de Escádia Grande. Esta zona não corresponde a nenhuma anomalia radiométrica significativa, facto que, sem outros meios de informação que o permitam confirmar, poderá estar relacionado com eventuais contrastes litológicos. O extremo SE desta concentração de densidades corresponde, contudo, a um ligeiro pico radiométrico, pelo que já apresentará algum interesse do ponto de vista da prospecção.

Apesar de não ter sido identificada uma elevada densidade de lineamentos, as ocorrências de Fonte Limpa e de Vale Torto (*vide* 17 e 23, Fig. 5.43) correspondem à intersecção de lineamentos de dimensão regional e também aos picos radiométricos mais elevados em toda a área de estudo.

Outros locais de elevada densidade de lineamentos e correspondentes a picos radiométricos são a zona de Vieiro (*vide* 8, Fig. 5.43) e a zona a NE do Colmeal (*vide* 22, Fig. 5.43). São, ainda, de assinalar alguns picos de radiometria alinhados sensivelmente N-S e que correspondem à direcção de alguns lineamentos identificados. O pico radiométrico a E de Vale Pião poderá ser interessante na medida em que corresponde à intersecção entre um sistema de lineamentos NNE-SSW e WNW-ESE. O lineamento N10°W passando junto a Senhora da Guia (*vide* 2, Fig. 5.43), referido em 5.1.2., poderá ser de importância acrescida uma vez que corresponde a um pico radiométrico sensivelmente alinhado com Vale Pião.

No que se refere aos valores de radiometria mais reduzidos, destaca-se a assinatura muito expressiva do bloco entre a falha de Piães-Senhora da Guia e a falha de Cabreira. Esta assinatura radiométrica pode ser consequência da interferência das estruturas NE-SW que afectam a região. O facto de esta anomalia se esbater para SW, direcção na qual os valores de radiometria aumentam e culminam num pico, poderá indicar mais um possível alvo de interesse.

5.5.4. Dados de toponímia

O último conjunto de dados integrados com os lineamentos detectados foi a localização de determinados locais com toponímia muito característica. No decorrer deste trabalho verificou-se a frequente utilização dos topónimos «peão» ou «pião» junto à localização de minas na região beirã. De acordo com a Grande Enciclopédia Portuguesa e Brasileira (Vol. XXI), constatou-se que a palavra *pião* designa «*grande cavidade natural ou artificial, aberta na rocha*». Deste modo, devido à relativa abundância deste topónimo e outros seus similares, assim como do topónimo «mina», considerou-se relevante a referência e identificação destes locais.

Na Fig. 5.44 apresentam-se os locais identificados. Note-se que a maioria destes locais se encontra directamente associada a lineamentos detectados, destacando-se aqueles que aparentam estar relacionados com direcções similares às faixas Au-Ag de Escádia Grande e Vieiro-Fonte Limpa (4, 5, 6, 8 e 9, Fig. 5.44).

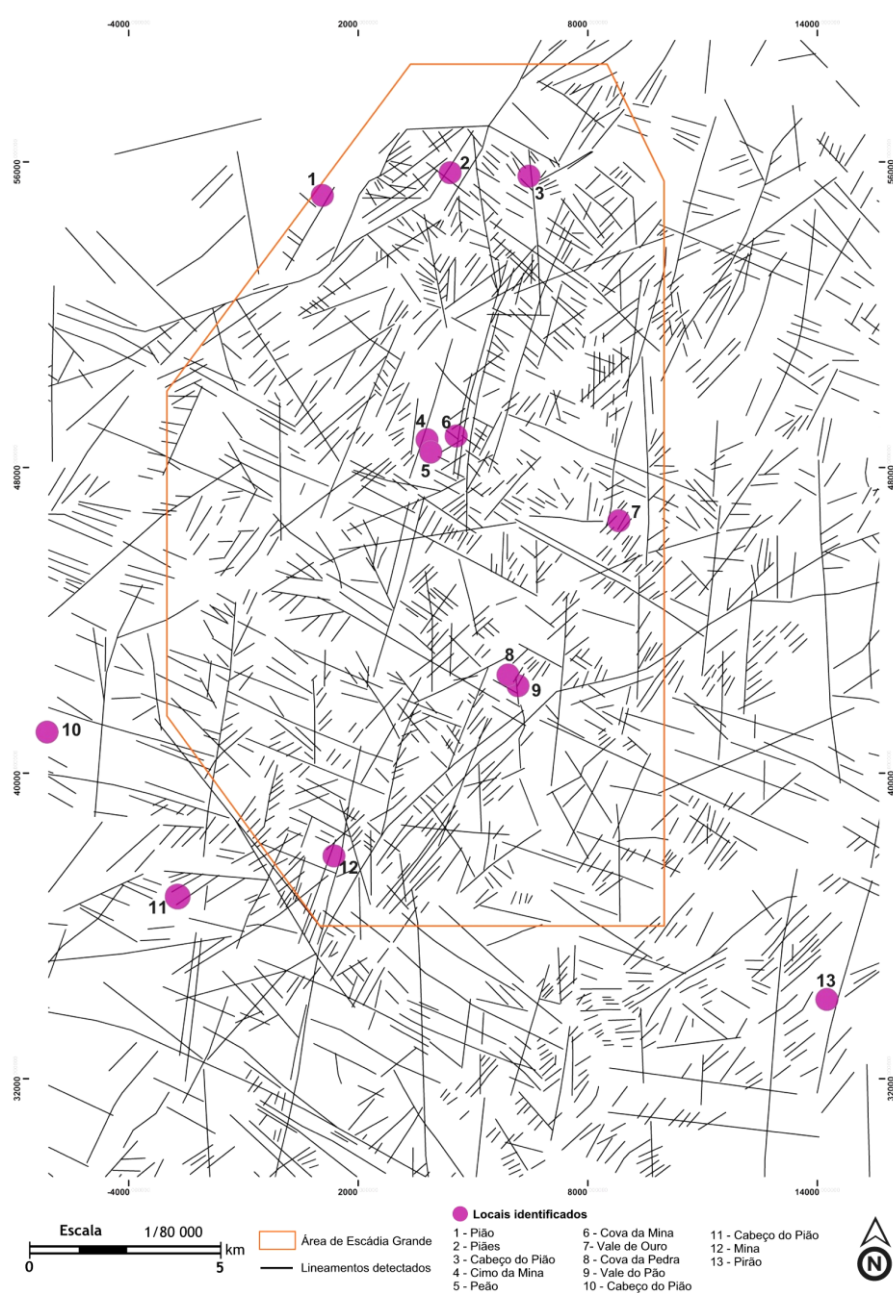


Fig. 5.44. Lineamentos detectados e locais de toponímia relevante.

5.6. Selecção de áreas potenciais

Tendo em conta todos os critérios anteriormente definidos (geologia, mineralizações conhecidas, lineamentos detectados, radiometria e toponímia) e as considerações que foram sendo apresentadas ao longo do presente capítulo, especialmente no último ponto abordado (5.5. Integração de dados), no qual se procedeu à reunião de diferentes fontes de informação, foram seleccionadas diversas áreas que poderão ter particular interesse do ponto de vista da prospecção e pesquisa mineral.

Assim, tal como se apresenta no mapa da Fig. 5.45, foi possível obter dezanove áreas potenciais, nas quais se propõe o desenvolvimento de trabalhos de prospecção de maior detalhe. Dos sectores propostos, apenas três não se situam na área de prospecção e pesquisa de Escádia Grande. A esmagadora maioria das áreas definidas tem as mineralizações auro-argentíferas como principal alvo. As cinco áreas propostas que melhor cumprem os critérios aplicados são: Sandinha Sul (AP3), Fonte Limpa - Roda Fundeira (AP11), Vale Torto (AP15), Alvares Norte (Rib. Sinhel) (AP14) e Serra da Folgosa (AP5).

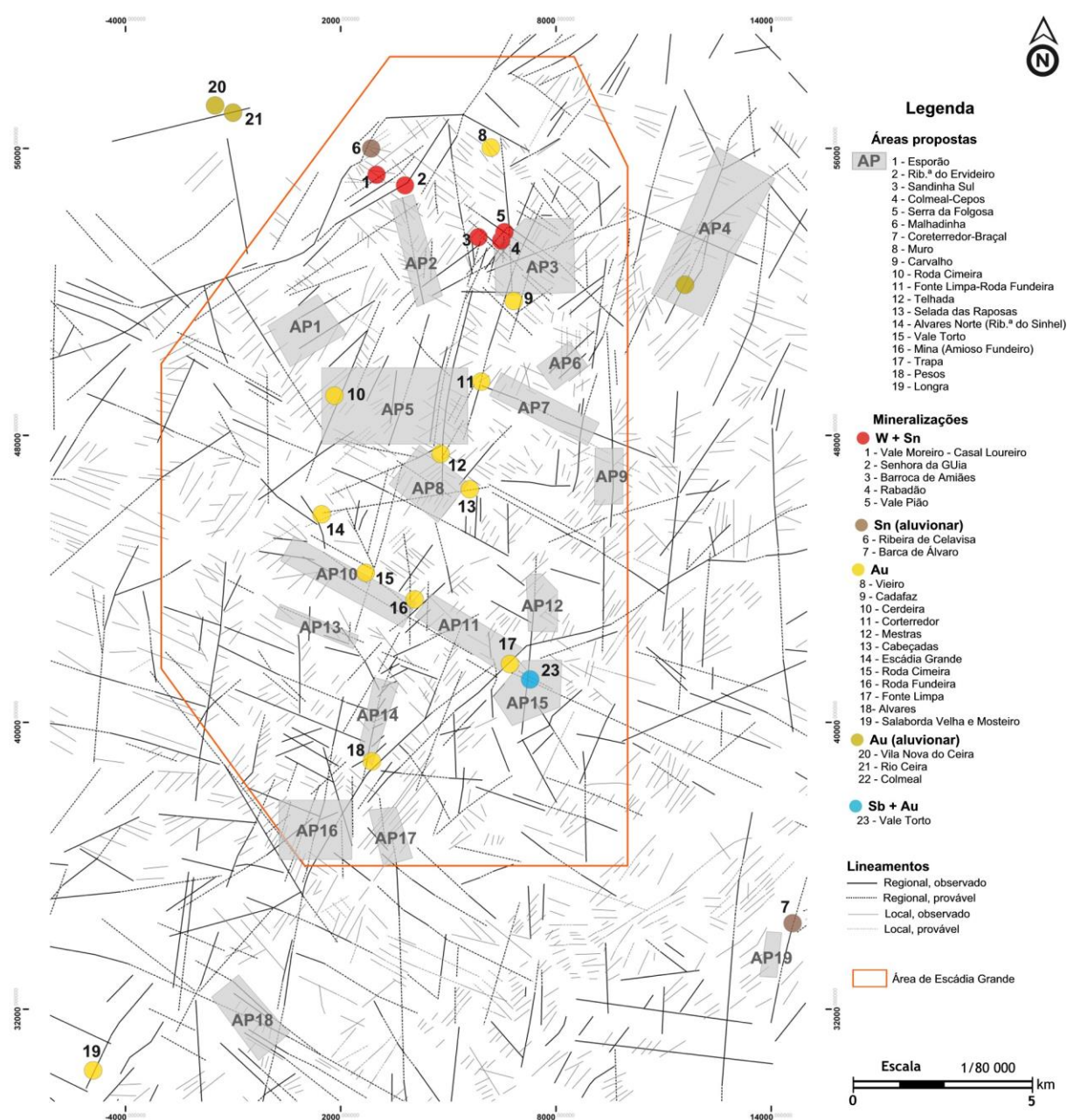


Fig. 5.45. Áreas propostas para estudo detalhado.

6. Considerações finais e trabalhos futuros

Na presente dissertação foram exploradas diversas técnicas de detecção remota com o intuito de aplicar os resultados à prospecção de jazigos estano-volframíticos e/ou auro-argentíferos na região entre Góis e Castanheira de Pêra.

A utilização de imagens de satélite permitiu a identificação de novos elementos geológicos-estruturais que, devidamente verificados em trabalhos de campo e complementados com informação proveniente de outras fontes (cartografia geológica, altimetria e radiometria), possibilitou a identificação de áreas com potencial para a ocorrência de mineralizações estano-volframíticas e/ou auro-argentíferas, nas quais se propõe a execução de futuros trabalhos de prospecção e pesquisa mais detalhados.

A região em estudo, incluída na área de prospecção e pesquisa de Escádia Grande, cujos direitos são detidos pela EDM, é caracterizada pela predominância de materiais xisto-grauváquicos pertencentes ao Supergrupo Dúrico-Beirão (SGDB), aos quais se sobrepõem, em discordância, quartzitos ordovícios. Apesar dos abundantes exemplos regionais de intrusões graníticas aflorantes associadas à orogenia hercínica, na área em estudo desconhece-se qualquer ocorrência deste tipo, conhecendo-se apenas o granito de Coentral, de idade ante-hercínica. Muito mais recentes e aflorando quase exclusivamente na fronteira NE da área, ocorrem os depósitos meso-cenozóicos, essencialmente areníticos e arcósicos.

A região entre Góis e Castanheira de Pêra corresponde à intersecção de três faixas metalíferas (faixa Sn-W Góis-Segura, a faixa Au-Ag de Escádia Grande e a faixa Au-Ag Vieiro-Fonte Limpa) enquadradas na Província Metalogenética Estanífera e Tungstífera da Península Ibérica. A exploração de ouro na região data principalmente da era romana, tendo a mina de Escádia Grande também sido alvo de exploração nos anos 40 e 50 do século XX. Em relação ao estanho e volfrâmio, a zona em estudo foi uma das mais produtivas em Portugal durante a II Guerra Mundial, destacando-se as minas de Senhora da Guia e Vale Pião. A região abrangida pela presente dissertação é, portanto, um alvo extremamente apetecível para a prospecção e exploração mineira em Portugal.

Apesar da crescente utilização das ferramentas de detecção remota nas mais diversas temáticas das Geociências em Portugal, poucos são os exemplos recentes da sua utilização específica no âmbito da prospecção de minerais metálicos. As técnicas de detecção remota, devido à perspectiva sinóptica e à cobertura multiespectral que possibilitam, podem ter um papel de relevo em várias fases dos trabalhos de prospecção, reduzindo efectivamente o custo destes empreendimentos. Para além disso, o facto de ser possível a sua integração simultânea com diferentes tipos de informação permite fazer uma verificação mais sólida e melhor fundamentada das informações recolhidas remotamente.

Dos métodos de processamento mais correntemente utilizados para o realce de imagens de satélite foram utilizados os seguintes: composições coloridas, rácios espectrais, filtros digitais, Análise em Componentes Principais e classificação espectral.

No que se refere à aplicação de **rácios espectrais** na imagem de satélite, nenhum dos utilizados se mostrou eficaz na caracterização geológica da região, situação que será devida à extensão e densidade do coberto vegetal.

Apesar da utilização da **Análise em Componentes Principais** ter permitido o destaque de alguns elementos que não sobressaem através de outros processamentos, não foi possível efectuar correlações significativas com as coberturas conhecidas.

A utilização dos algoritmos de **classificação automática** não se revelou satisfatória. Em relação às **classificações supervisionadas**, apesar dos bons resultados na definição de elementos como a rede viária, corpos de água ou zonas agrícolas, a caracterização geológica não foi conclusiva, não tendo sido possível individualizar os principais grupos litológicos da região (materiais do SGDB, granito de Coentral, materiais ordovícios e materiais meso-cenozóicos). As dificuldades encontradas poder-se-ão atribuir ao denso coberto vegetal da área em estudo.

Relativamente à identificação de lineamentos, foram realizadas análises periciais sucessivas, cuja base foi a aplicação de critérios fotogeológicos sobre imagens resultantes do processamento de uma cena Landsat 8 (composições RGB e **filtros direccionais** sobre a B6 e sobre diversos rácios) e de dados altimétricos. Este conjunto de procedimentos permitiu identificar de 1894 lineamentos na área de estudo, tendo sido classificados de acordo com a respectiva escala (regional / local) e ocorrência (observado / provável).

Apesar da coincidência geral entre os lineamentos identificados a partir da imagem de satélite e aqueles a partir dos mapas de relevo sombreado, o facto de os últimos serem provenientes de uma análise a escala mais pormenorizada permitiu melhorar as interpretações realizadas, assim como diminuir os efeitos do coberto vegetal e de sombra natural na imagem de satélite.

A fusão de lineamentos obtidos através de diferentes fontes revelou-se um passo crucial que, para além de ter possibilitado a obtenção de um único mapa de lineamentos, permitiu que as eventuais limitações de cada um dos métodos de processamento utilizados fossem compensadas pelas vantagens dos restantes.

Os trabalhos de campo realizados permitiram efectuar a validação do significado geológico de muitos dos lineamentos interpretados preliminarmente. De acordo com as **observações realizadas no terreno** e com o apoio dos **dados de detecção remota**, verificou-se que:

- a falha de Piães-Senhora da Guia será composta por dois ramos de comprimento semelhante mas de direcções diferentes (N60°E e N30-40°E) e cuja aparente inflexão corresponde à zona do santuário de Nossa Senhora da Guia;
- nas imediações de Corterredor foi reconhecida uma importante falha NNE-SSW, que coincide com um extenso lineamento detectado e cujo possível prolongamento para SW poderá indicar uma possível relação com as mineralizações auríferas conhecidas;
- no sector III foram reconhecidas estruturas consideráveis que poderão ser associadas aos lineamentos NW-SE previamente detectados, assim como outros N-S a NNE-SSW, de expressão relativamente menos evidente;
- entre as localidades de Fonte Limpa e Pessegueiro foi reconhecida uma importante caixa de falha (N50°E) que, para além de poder estar relacionada com lineamentos detectados, poderá corresponder a um troço da falha de Cebola;
- na região de Alvares foi confirmada a existência de importantes estruturas de direcções N-S a NNE-SSW que foram detectadas remotamente;
- junto a Machio foi possível confirmar a existência de algumas estruturas subparalelas à falha de Cebola, embora menos evidentes do que o que seria expectável, não tendo sido encontradas evidências do lineamento N-S previamente detectado;
- junto às antigas minas de Vale Pião reconheceu-se uma série de importantes estruturas, tanto com possível relação com as mineralizações Sn-W, como de carácter frágil, com possível influência nos blocos mineralizados.

Deste modo, as estruturas observadas podem ser agrupadas em três conjuntos principais, sobre os quais se podem tirar conclusões relevantes e concordantes com as fontes bibliográficas:

(1) às direcções NW-SE, que estarão relacionadas com a estruturação varisca, encontram-se associadas S0/S1 e cisalhamentos/falhas; a estas direcções correspondem as das mineralizações de Sn-W de Senhora da Guia, a parte das mineralizações de Vale Pião e ainda às mineralizações Au-Ag de Escádia Grande;

(2) as direcções NE-SW são representadas por falhas e fracturas, cujo rumo indica uma provável relação com as falhas de Lousã e de Cebola; associadas a estas direcções, há que destacar as brechas estano-volframíticas, com ouro acompanhante, de Vale Moreiro-Casal Loureiro e Vale Pião;

(3) as direcções NNE-SSW, representadas por falhas e fracturas, coincidentes com as mineralizações atribuídas à faixa Au-Ag Vieiro-Fonte Limpa, estarão possivelmente relacionadas com os sistemas de fracturação de Vilariça e de Chaves-Régua.

Deste modo, tanto os trabalhos de campo desenvolvidos com base nas interpretações preliminares de lineamentos, como a sobreposição do mapa final de lineamentos detectados remotamente com os dados de cartografia geológica, proporcionaram a confirmação da fiabilidade das interpretações realizadas, tendo sido praticamente detectadas todas as estruturas actualmente conhecidas. Verifica-se, pois, a eficácia da utilização das ferramentas de detecção remota adequadas na identificação de elementos geológicos.

A incorporação dos dados obtidos através do processamento da imagem de satélite e de dados de altimetria possibilitou a avaliação cuidada das interpretações realizadas e permitiu tirar conclusões sobre a eventual relação entre lineamentos e mineralizações, assim como deduzir o seu significado geológico.

A **integração** das diversas fontes de informação utilizadas proporcionou a definição de um conjunto de critérios empíricos que permitiu a selecção de dezanove áreas potenciais, nas quais se propõe o desenvolvimento de trabalhos de prospecção de maior detalhe, cumprindo-se, assim, o objectivo último da presente dissertação.

As conclusões apresentadas neste estudo devem ser tidas como resultados preliminares. Neste sentido, e dada a impossibilidade de continuação dos trabalhos no âmbito desta dissertação, apresentam-se algumas sugestões de abordagens que poderão servir de base para futuros desenvolvimentos.

Apesar da contribuição positiva da detecção remota para a identificação de elementos geológicos, a resolução temporal da imagem de satélite utilizada pode ter desempenhado um papel condicionante nos resultados obtidos na medida em que a caracterização litológica é mais eficiente se realizada em imagens recolhidas em meses de Verão devido à menor interferência da cobertura vegetal e às condições de iluminação (Rabaça *et al.*, 2004). Seria, assim, importante a aquisição de **nova imagem de satélite**, desta vez correspondente a **meses de Verão**, de modo a testar a respectiva adequabilidade à definição da cobertura geológica da área em estudo.

Visto que a densa cobertura vegetal da área de estudo se revelou um entrave significativo à aplicação de algumas técnicas de detecção remota, a exploração de metodologias de processamento de imagem digital que possibilitem a **supressão dos efeitos da vegetação**, realçando a expressão da geologia, poderá revelar-se proveitosa. Sugere-se, por exemplo, a utilização da **técnica de invariância forçada** (*forced invariance*), descrita por Crippen & Blom (2001).

Uma vez que os principais tipos de alteração hidrotermal associados às mineralizações da região em estudo são razoavelmente bem conhecidos e se encontram referenciados na bibliografia específica, a **determinação de possíveis zonas de alteração** através da detecção remota poderá ser um critério a ter em conta na futura selecção de alvos para a prospecção. Para o efeito, sugere-se a aquisição e interpretação de **imagens de satélite hiperespectrais**.

A aquisição e processamento de **imagens de satélite de alta resolução espacial** poderá permitir a selecção de alvos com um detalhe superior ao utilizado neste trabalho. Imagens deste tipo, aliadas a imagens de maior resolução espectral, poderão possibilitar a identificação de antigas escombrelas que, para além de poderem indicar zonas de antigos trabalhos mineiros dos quais não existem registos (com todas as implicações que uma descoberta do género teria para os trabalhos de prospecção), poderão revelar-se, elas próprias, possíveis objectos de exploração.

Uma outra abordagem metodológica importante a aplicar pode ser a **caracterização espectral** pormenorizada das principais coberturas da área de estudo. Através de medições *in situ* e/ou laboratoriais, a caracterização espectral dos materiais que compõem a cobertura da área (geológicos, botânicos e antrópicos), assim como a caracterização espectral específica dos materiais associados às diferentes ocorrências minerais conhecidas, poderá fornecer dados que permitirão o ajuste das ferramentas de detecção remota e do processamento de imagem. A metodologia aplicada por Sinergeo & Universidade do Minho (2013), por exemplo, utilizada para a caracterização espectral de massas pegmatíticas e litologias encaixantes espacialmente relacionadas, poderá ser adaptada e aplicada à região estudada na presente dissertação.

Propõe-se a exploração de algoritmos de processamento de imagem digital que permitam a **detecção automática** ou semi-automática de lineamentos na região, complementando os dados já adquiridos com este trabalho.

Tendo a integração de dados como uma das etapas mais importantes num estudo com os fins como o presente, a obtenção e inclusão de mais fontes de informação poderá revelar-se essencial. A utilização simultânea de dados de prospecção geofísica, nomeadamente gravimetria e magnetometria, poderá não só confirmar a existência e significado geológico dos lineamentos detectados, como também reconhecer a sua potencial relação com as mineralizações. Do mesmo modo, a inclusão de dados de prospecção geoquímica e respectiva detecção de anomalias poderá ajudar a uma melhor definição das áreas-alvo.

Para trabalhos futuros sugere-se, por fim, a adopção de uma metodologia quantitativa para a hierarquização de áreas potenciais para o desenvolvimento de estudos de pormenor. Tal metodologia deve contemplar a definição de parâmetros multidisciplinares de avaliação e factores de ponderação que permitam uma tomada de decisão com base em critérios de aptidão à ocorrência de mineralizações.

A relevância estratégica dos recursos minerais é um tema que tem assumido proporções cada vez mais significativas, um pouco por todo o mundo. Do mesmo modo, a utilização de informação recolhida em plataformas aeroespaciais com fins exclusivamente pacíficos tem proporcionado enormes avanços científicos em diversas áreas. Em qualquer dos casos, deve defender-se a utilização das ferramentas científicas mais avançadas como meio adequado à protecção e preservação do planeta Terra, possibilitando o desenvolvimento sustentável adequado às disponibilidades e fragilidades do meio e às necessidades das populações que nele se encontram inseridas.

6. Considerações finais e trabalhos futuros

Como comentário final deseja-se reforçar a ideia de que os dados recolhidos através da detecção remota nunca deverão ser avaliados isoladamente, nem tidos como simples alternativa à realização de investigação no terreno. Apesar de as ferramentas de detecção remota poderem permitir a obtenção de informação importante, é absolutamente imprescindível a validação no terreno das observações realizadas. Da mesma forma, a integração da informação recolhida por detecção remota com informação complementar é, também ela, uma etapa fundamental para uma tomada de decisão mais criteriosa e fundamentada.

Referências bibliográficas

Abdullah, A., Akhir, J. M., Abdullah, I. (2010). *Automatic Mapping of Lineaments Using Shaded Relief Images Derived from Digital Elevation Model (DEMs) in the Maran – Sungi Lembing Area, Malaysia*. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 15, pp. 949-957.

Abdullah, A., Nassr, S., Ghaleeb, A. (2013). *Landsat ETM-7 for Lineament Mapping using Automatic Extraction Technique in the SW part of Taiz area, Yemen*. Global Journal of Human Social Science Geography, Geo-Sciences, Environmental & Disaster Management, Vol. 13 (3), pp. 35-38.

Amaral, F., Dias, R., Coke, C., Romão, J., Ribeiro, A. (2014). *A fase de deformação sarda na Zona Centro-Ibérica*. Comunicações Geológicas, 101, Especial I, pp. 239-242.

Andrade, R. S. N. de (1983). *Interpretação Fotogeológica da Região Centro de Portugal*. Estudos, Notas e Trabalhos do SFM. Vol. XXV, fascs. 3-4, pp. 227-245.

Andrade, R. S. N. de (1984). *Fotointerpretação geológica da região de Três Minas*. SFM, 8p.

Andrade, R. S. N. de (1985). *Fotointerpretação geológica da região de Góis*. DGGM – SFM, 8p.

Andrade, R. S. N. de (1990). *Programa 2.1 - Prospecção de minérios metálicos e radioactivos. Projecto 2.1.3 - Prospecção de metais nobres: ouro e prata. Relatório de actividade referente ao 2º semestre de 1990*. SFM.

Argialas, D., Mavrantza, O., Stefouli, M. (s.d.). *Automatic mapping of tectonic lineaments (faults) using methods and techniques of Photointerpretation / Digital Remote Sensing and Expert Systems*. THALES Project N°. 1174, 6p.

Batista, M. J., Torres, L., Leote, J., Prazeres, C., Saraiva, J., Carvalho, J. (2013). *Carta Radiométrica de Portugal (1:500 000)*. LNEG.

Beauchemin, M. and Fung, K. B. (2001). *On Statistical Band Selection for Image Visualization*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 67, N° 5, pp. 571-574.

Bengala, J. A. M. (1985). *Região de Góis (243) - Relatório do perfil gravimétrico OB N-78gr-W*. DGGM – SFM, Divisão de Geofísica, 4p.

Bonetto, S., Facello, A., Ferrero, A. M., Umili, G. (2015). *A tool for semi-automatic linear feature detection based on DTM*. Computers & Geosciences (75). pp 1-12.

Borrvalho, V. & Parra, A. (1988). *Projecto 2.4.1. Reconhecimento e avaliação de recursos minerais (região de Góis). Plano de actividades para 1988*. DGGM – SFM. 36p.

Brito, M. G. (2007a). *Detecção Remota – O espectro electromagnético*. Departamento de Ciências da Terra, FCT UNL. Não publicado. 16p.

Brito, M. G. (2007b). *Detecção Remota – Sensores e Satélites*. Departamento de Ciências da Terra, FCT UNL. Não publicado. 40p.

Brito, M. G. (2007c). *Detecção Remota – Processamento de imagens*. Departamento de Ciências da Terra, FCT UNL. Não publicado. 29p.

- Brito, M. G. (2007d). *Detecção Remota – Classificação de imagens*. Departamento de Ciências da Terra, FCT UNL. Não publicado. 25p.
- Cabral, J. (1995). *Neotectónica em Portugal Continental*. Memórias do I. G. M. N° 31, 265p.
- Cabral, J. (2012). *Neotectonics of mainland Portugal: state of the art and future perspectives*. Journal of Iberian Geology, 38 (1), pp. 71-84.
- Campbell, J. B. & Wynne, R. H. (2011). *Introduction to Remote Sensing*. The Guilford Press. 5ª edição, 667p.
- Carvalho, A. D. (1979). *Breves referências sobre jazigos auríferos portugueses*. Boletim de Minas, 16, 3-4, pp. 139-150.
- Carvalho, A. D. (1986a). *Trabalhos de pesquisa na região mineira de Góis*. DGGM – SFM, Sector de Avaliação de Recursos Minerais, 26p.
- Carvalho, A. D. (1986b). *Mina de ouro da Escádia Grande - apontamento monográfico de pesquisa*. DGGM – SFM, Sector de Avaliação de Recursos Minerais, 26p.
- Carvalho, D. (1974). *Lineament patterns and hypogene mineralization in Portugal*. Estudos, Notas e Trabalhos do SFM, vol. XXIII, Fasc. 3-4, pp. 91-106.
- Carvalho, D. (1997). *Aspectos gerais da geopolítica dos recursos minerais*. GEONOVAS, N°12, pp. 1-22.
- Cengiz, O., Sener, E., Yagmurlu, F. (2006). *A satellite image approach to the study of lineaments, circular structures and regional geology in the Golcuk Crater district and its environs (Isparta, SW Turkey)*. Journal of Asian Earth Sciences, 27, pp. 155–163.
- Cerveira, A. (1946). *Notas sobre as minas de ouro da Serra da Louzã*. Boletim Soc. Geol. Port., Vol. VI, pp. 245-255
- Cerveira, A. (1952). *Relações entre os jazigos hipogénicos portugueses de ouro e de tungsténio*. Boletim da Soc. Geol. de Portugal, Vol. X, pp. 133-144.
- Cirés J., Marturià, J., de Paz, A., Casanovas, J., Lleopart, A. (1997). *Digital elevation models, a useful tool for geological mapping. Some examples from Catalonia*. Institut Cartogràfic de Catalunya. Second Congress on Regional Geological Cartography and Information Systems, Barcelona, Espanha. pp. 297-304.
- Chavez, P.S., Berlin, G. L., Sowers, L.B. (1982). *Statistical method for selecting Landsat MSS ratios*. Journal of Applied Photographic, Vol. 8, N° 1, pp. 23-30.
- Comissão Europeia (2010). *Matérias-primas críticas para a UE. Relatório do Grupo de Trabalho Ad-hoc na definição de matérias-primas críticas*. Comissão Europeia. 82p.
- Comissão Europeia (2014a). *Report on critical raw materials for the EU - critical raw materials profiles*. Comissão Europeia. 205p.
- Comissão Europeia (2014b). *Report on critical raw materials for the EU - non-critical raw materials profiles*. Comissão Europeia. 138p.
- Comissão Europeia (2014c). *Report on critical raw materials for the EU. Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials*. Comissão Europeia. 41p.

- Crippen, R. E. & Blom, R. G. (2001). *Unveiling the Lithology of Vegetated Terrains in Remotely Sensed Imagery*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 67, Nº 8, pp. 935-943.
- Daveau, S. (1976). *Le Bassin de Lousã*. Memórias e Notícias, Publ. Mus. Lab. Mineral Geol., Univ. Coimbra, Nº82, pp. 95-115.
- Daveau, S. (1985). *Critères géomorphologiques de déformations tectoniques récentes dans les montagnes de schistes de la Cordilheira Central (Portugal)*. Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire, Volume 22, Numéro 4, pp. 229-238.
- Daveau, S., Birot, P., Ribeiro, O. (1986). *Les bassins de Lousã et d'Arganil. Vol. I e II*. Memórias do Centro de Estudos Geográficos, Nº 8, 426p.
- de Jong, S. M., van der Meer, F. D., Clevers, J. G. P. W. (2005). *Basics of Remote Sensing*. In de Jong, S. M. & van der Meer, F. D. (ed.). *Remote Sensing Image Analysis: Including the Spatial Domain*. Springer. 5ª edição. pp. 1-11.
- Derré, C. (1982). *Caracteristiques de la Distribution des Gisements à Etain et Tungstene Dans 'Ouest de L'Europe*. Mineralium Deposita (17), pp. 55-77.
- Dias, R., Ribeiro, A., Coke, C., Pereira, E., Rodrigues, J., Castro, P., Moreira, N., Rebelo, J. (2013). *Evolução estrutural dos sectores setentrionais do Autóctone da Zona Centro-Ibérica*. In Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J. C. (Eds.), *Geologia de Portugal Vol.1*. Escolar Editora, pp. 73-148.
- Drury, S. A. (1993). *Image interpretation in Geology*. Chapman & Hall. 2ª edição, 283p.
- Eastman, J. R. (2012). *IDRISI Selva Manual (version 17.01)*. Clark University, 324p.
- Ekneligoda, T. C. & Henkel, H. (2010). *Interactive spatial analysis of lineaments*. Computers & Geosciences (36), pp. 1081-1090.
- Farinha, J. A. L. B. & Rodrigues, L. V. (1989). *Anexo 21. Contribuição para o conhecimento geo-estrutural da área de Argela-Covas (Caminha). Aplicação de cartografia geológica, geofísica e geoquímica*. In Projecto 2.1.1 - Prospecção de volfrâmio e estanho e minerais associados. Relatório de actividade referente aos 3º e 4º trimestre de 1988, SFM.
- Farinha, J. A. L. B., Andrade, R. S. N., Rodrigues, L. V. (1994). *Programa 2.1 - Prospecção e inventariação de minérios metálicos. Projecto 2.1.1 - Prospecção de ouro, prata e metais associados na faixa Bouça do Abade - Arga de Cima (Ponte de Lima). 1991-1993. Relatório final*. IGM.
- Filho, C. O. A. & Fonseca, L. M. G. (2009). *Lineamentos estruturais a partir de imagem Landsat TM e dados SRTM*. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. pp. 3151-3158.
- Fonseca, A. D. & Fernandes, J. C. (2004). *Detecção Remota*. LIDEL, 224p.
- Fonseca, J. D. & Rodrigues, L. F. (1986). *Prospecção por reflexão sísmica na zona da mina do Vale do Pião (Góis)*. LNEC, Departamento de Geotecnia, Núcleo de Prospecção, Proc. 54/0/8594, 5p.
- Galopim de Carvalho, A. M. (2011). *Dicionário de Geologia*. Âncora editora. 486p.
- Goetz, A. F. H., Rock, B. N., Rowan, L. C. (1983). *Remote Sensing for Exploration: An Overview*. Economic Geology, Vol. 78, Nº 4, pp. 573-590.

- Goinhas, J. & Viegas, L. (1983). *Província metalogénica estanífera e tungsténica ibérica*. Estudos, Notas e Trabalhos do SFM, vol. XXV, fascs. 3-4, pp. 147-178.
- Gomes, A. A. T. (2008). *Evolução geomorfológica da plataforma litoral entre Espinho e Águeda*. Departamento de Geografia, Faculdade de Letras da Universidade do Porto. Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Geografia Física. 337p.
- Gomes, E. M. C. & Antunes, I. M. H. R. (2011). *O granito de Coentral revisitado: idade U-Pb de zircão*. VIII Congresso Ibérico de Geoquímica, Livro de actas. Vol. 1, pp. 235-239.
- Griffiths, D. H. & King, R. F. (1981). *Applied Geophysics for Geologists and Engineers*. Pergamon Press, 2ª edição, 230p.
- Gupta, R. P. (2003). *Remote Sensing Geology*. Springer, 2ª edição, 655p.
- Instituto Geológico e Mineiro (1998). *Mineral Potential of Portugal*.
- Inverno, C. & Ribeiro, M. L. (1980). *Fracturação e cortejo filoneano nas Minas da Argemela (Fundão)*. Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal, Tomo 66, pp. 185-193.
- Jaques Ribeiro, L. M. & Gonçalves, A. C. R. (2013). *Contributo para o conhecimento geológico e geomorfológico da área envolvente do Couto Mineiro da Panasqueira*. Revista de Geografia e Ordenamento do Território, n.º 3. Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território. pp. 93-116.
- Jensen, J. R. (2000). *Remote Sensing of the Environment – an Earth Resource Perspective*. Prentice Hall, 544p.
- Kavak, K. S. & Cetin, H. (2007). *A Detailed Geologic Lineament Analysis Using Landsat TM Data of Gölmarmara/Manisa Region, Turkey*. Online Journal of Earth Sciences, 1 (3), pp. 145-153.
- Khorram, S., Koch, F. H., van der Wiele, C. F., Nelson, S. A. C. (2012). *Remote Sensing*. Springer. 134p.
- Koçal, A. (2004). *A methodology for detection and evaluation of lineaments from satellite imagery*. Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Minas. 122p.
- Koçal, A., Duzgun, H. S., Karpuza, C. (2004). *Discontinuity mapping with automatic lineament extraction from high resolution satellite imagery*. XX ISPRS Congress. 6p.
- Konecny, G. (2003). *Geoinformation - Remote sensing, photogrammetry and geographic information systems*. Taylor & Francis. 248p.
- Kruse, F. A. & Perry, S. L. (2014). *Resource exploration*. In Njoku, E. G. (Ed.) *Encyclopedia of Remote Sensing*. Springer. pp. 702-718.
- Lei n.º 54/2015 de 22 de Junho. *Bases do regime jurídico da revelação e do aproveitamento dos recursos geológicos existentes no território nacional, incluindo os localizados no espaço marítimo nacional*. Diário da República, 1.ª série, N.º 119, 22 de Junho de 2015. Assembleia da República.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., Chipman, J. W. (2008). *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons, 6ª edição, 756p.

- Lourenço, A. (2002). *Paleofluidos e mineralizações associadas às fases tardias da Orogenia Hercínica*. Tese para obtenção do grau de Doutor em Geologia, FCUP, Dep. Geologia. 326p.
- Marjoribanks, R. (2010). *Geological Methods in Mineral Exploration and Mining*. Springer, 2ª edição, 238p.
- Marques, F. O., Mateus, A., Tassinari, C. (2002). *The Late-Variscan fault network in central-northern Portugal (NW Iberia): a re-evaluation*. Tectonophysics 359, pp. 255-270.
- Martins, L. P. (2012). *Mineral Resources of Portugal*. DGEG, 71p.
- Masoud, A. & Koike, K. (2006). *Tectonic architecture through Landsat-7 ETM+/SRTM DEM-derived lineaments and relationship to the hydrogeologic setting in Siwa region, NW Egypt*. Journal of African Earth Sciences, 45, pp. 467-477.
- Masoud, A. & Koike, K. (2011). *Auto-detection and integration of tectonically significant lineaments from SRTM DEM and remotely-sensed geophysical data*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing (66). pp. 818-832
- Mateus, A. & Noronha, F. (2010). *Sistemas mineralizantes epigenéticos na Zona Centro-Ibérica; expressão da estruturação orogénica Meso- a Tardi-Varisca*. In Ciências Geológicas-Ensino e Investigação e sua história. Volume II. pp. 47-61.
- Meireles, C., Castro, P., Ferreira, N. (2014). *Evidências cartográficas, litoestratigráficas e estruturais sobre a presença de discordância cadomiana intra Grupo das Beiras*. Comunicações Geológicas, 101, Especial I, pp. 495-498.
- Meireles, C., Sequeira, A. J. D., Castro, P., Ferreira, N. (2013). *New data on the lithostratigraphy of Beiras Group (Schist Greywacke Complex) in the region of Góis-Arganil-Pampilhosa da Serra (Central Portugal)*. Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe, Vol. 37, pp. 105 – 124.
- Meshkani, S. A., Mehrabi, B., Yaghubpur, A., Sadeghi, M. (2013). *Recognition of the regional lineaments of Iran: Using geospatial data and their implications for exploration of metallic ore deposits*. Ore Geology Reviews, 55. pp. 48-63.
- Metodiev, D., Romão, J., Dias, R., Ribeiro, A. (2010). *Sinclinal Varisco de Serra do Moradal-Fajão (Zona Centro-Ibérica, Portugal Central): padrões estratigráficos e estruturais*. e-Terra, Volume 11, nº 19. VIII Congresso Nacional de Geologia. 4p.
- Milsom, J. (2006). *Geophysical methods*. In *Introduction to Mineral Exploration*. Moon, C. J., Whateley, M. K. G., Evans, A. M. (Ed.). Blackwell publishing, 2ª edição, pp. 127-154.
- Moura, A. & Lopes Velho, J. (2012). *Recursos Geológicos de Portugal*. Palimage, 571p.
- Neiva, J. M. C. (1944). *Jazigos portugueses de cassiterite e volframite*. Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal, Tomo XXV, 251p.
- Nogueira Ramos, J. (2009). *Góis, tempo de volfrâmio. Entre Memória e História*. Movimento de Cidadãos por Góis, pp. 161-194.
- Noronha, F. (1988). *Mineralizações*. Geonovas, Vol. 10, pp. 37-54.
- Noronha, F. & Ramos, J. M. F. (1993). *Mineralizações auríferas primárias no norte de Portugal. Algumas reflexões*. Cuaderno Lab. Xeolóxico de Laxe, Coruña. Vol. 18, pp. 133-146.

- Noronha, F., Ribeiro, M. A., Almeida, A., Dória, A., Guedes, A., Lima, A., Martins, H. C., Sant'Ovaia, H., Nogueira, P., Martins, T., Ramos, R., Vieira, R. (2013). *Jazigos filonianos hidrotermais e aplitopegmatíticos espacialmente associados a granitos (norte de Portugal)*. In Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J. C. (Eds.), *Geologia de Portugal Vol.1*. Escolar Editora pp. 377-402.
- Novak, I. D. & Soulakellis, N. (2000). *Identifying geomorphic features using LANDSAT-5 TM data processing techniques on Lesvos, Greece*. *Geomorphology*, 34, pp. 101-109.
- Oliveira, J. M. S. (1990). *Geological, mineralogical and lithogeochemical studies in the Góis and Vila Pouca de Aguiar-Vila Real region, Portugal*. *Estudos, Notas e Trabalhos do SFM*, 32, pp. 65-76.
- Oliveira, M. A. (1969). *Geological report on Couto Mineiro de Góis*. 16p.
- Palacios, J. R. A. & Viana, R. R. (2011). *Detecção e extracção de lineamentos locais (sujeitos ao controle estrutural regional) de imagens de relevo, derivadas de dados da SRTM*. *Revis. Bras. Geof.*, Vol. 29(3), pp. 527-533.
- Parra, A. A. H. N. (1987). *Reconhecimento prévio dos filões mineralizados em volframite da mina da Senhora da Guia*. DGGM – SFM, 15p.
- Parra, A. A. H. N. (1988). *Jazida estano-volframítica de Vale Pião. Aspectos geológicos e cálculo preliminar de reservas*. DGGM – SFM. 53p.
- Parra, A. A. H. N. (1990). *Resultados da aplicação do método mineralométrico com base em solos superficiais à prospecção de jazidas primárias de cassiterite, volframite e ouro na região de Góis*. *Estudos, Notas e Trabalhos*, Tomo 32, pp. 83-92.
- Parra, A. A. H. N. (1993). *Resultados da aplicação do método mineralométrico com base em solos superficiais em rede detalhada à descoberta de jazidas primárias de cassiterite, volframite (scheelite) e ouro na região de Góis*. *Estudos, Notas e Trabalhos*, IGM, Tomo 35, pp. 21-33.
- Parra, A. A. H. N. & Filipe, B. B. (1995). *Contributo de curvas de teores, de possança, de conteúdos metálicos e de valores para o estudo geológico-económico da jazida estano-volframítica de Vale Pião*. *Estudos, Notas e Trabalhos do IGM*, Tomo 37, pp. 15-23.
- Pereira, B., Azevedo, J., Oliveira, J., Dias, P., Leal Gomes, C., Carvalho, J., Marques, A. (2012). *Contributos da detecção remota para a evidência e localização de pegmatitos em contexto intra granítico – Ponte da Barca (Minho)*. In Quinta-Ferreira, M., Barata, M. T., Lopes, F. C., Andrade, A. I., Henriques, M. H., Pena dos Reis, R., Ivo Alves, E. (coord.), *Para desenvolver a Terra. Memórias e notícias de geociências no espaço lusófono*. Imprensa da Universidade de Coimbra. Pp. 236-244.
- Pereira, E. (1988). *Soco Hercínico da Zona Centro-Ibérica - Evolução Geodinâmica*. *Geonovas*, Vol. 10, pp. 13-35.
- Pereira, E. S. (1985). *Geologia e potencialidades do jazigo estanífero de Montezinho (Bragança)*.
- Pereira, E., Ribeiro, A., Meireles, C. (1993). *Cisalhamentos hercínicos e controlo das mineralizações de Sn-W, Au e U na Zona Centro-Ibérica, em Portugal*. *Cuaderno Lab. Xeológico de Laxe Coruña*, Vol. 18, pp. 89-119.

Pereira, L. C. G., Sequeira, A. J. D., Gomes, E. M. C. (2004). *A deformação varisca do Maciço Hespérico na região da Serra da Lousã (Portugal central)*. Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe, Vol. 29, pp. 203-214.

Pinho, R. F. C. (2009). *Aplicação de técnicas de detecção remota para a identificação de lineamentos estruturais num sector do noroeste de Portugal e do sudoeste da Galiza*. Departamento de Geografia, Faculdade de Letras da Universidade do Porto. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território. 127p.

Pinto, A.F.F., Sousa, M.B., Conde, L.E.N., Macedo, C.A.R., Pratas, J.S., Gomes, E.M.C, Oliveira, J.M.S., Farinha, J.A.L., Martins, L.P., Rodrigues L.V., Reis, M.L.C., Shepherd, T.I., Naden J., Matos, C.A.A.R., Rachinhas, P.R.S., Rabaça, T.I.L. (2000). *Aspectos metalogénicos da região de Castelo Branco: parâmetros controladores das mineralizações e abordagem dos impactes ambientais*. PRAXIS XXI. Projecto 2/2.1/CTA/81/94.

Prost, G. L. (2014). *Remote Sensing for Geoscientists - Image analysis and integration*. CRC Press, 3ª edição, 622p.

Rabaça, T. J. L., Conde, L. N., Pinto, A. F. F., Pereira, A. J. S. C. (2004). *Avaliação das potencialidades técnicas de detecção remota como suporte à cartografia geológica na região central de Portugal*. e-Terra, Vol. 2, N°1, 14p.

Rajesh, H. M. (2004). *Application of remote sensing and GIS in mineral resource mapping - an overview*. Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, Vol. 99, pp. 83-103.

Ramos, J. M. F. (1997). *Anexo IV: Mineralizações auro-antimoníferas em quartzitos brechificados e brechas quartzo-ferruginosas da área de Alto do Sobrido (primeiros resultados)*. In Ocorrências auro-antimoníferas do Alto do Sobrido, IGM.

Resolução do Conselho de Ministros n.º 78/2012. *Estratégia Nacional para os Recursos Geológicos — Recursos Minerais*. Diário da República, 1.ª série, N.º 176, 11 de Setembro de 2012. Presidência do Conselho de Ministros.

Ribeiro, A. (1988). *A Tectónica Alpina em Portugal*. Geonovas, Vol. 10, pp. 9-11.

Ribeiro, A. (2013). *Evolução geodinâmica de Portugal; os ciclos ante-mesozóicos*. In Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J. C. (Eds.), *Geologia de Portugal Vol.1*. Escolar Editora, pp. 15-57.

Ribeiro, A. & Pereira, E. (1982). *Controlos paleogeográficos, petrológicos e estruturais na génese dos jazigos portugueses de estanho e volfrâmio*. Geonovas, vol. 1, n° 3, pp. 23-31.

Ribeiro, A., Kullberg, M. C., Kullberg, J. C., Manuppella, G., Phipps, S. (1990). *A review of Alpine tectonics in Portugal: Foreland detachment in basement and cover rocks*. Tectonophysics (184), pp. 357-366.

Rocha, R. B. & Kullberg, J. C. (2012). *Elementos de Fotogeologia*. Departamento de Ciências da Terra, FCT UNL. 57p. Não publicado.

Roldan, L.F., Machado, R., Steiner, S. S., Warren, L. V. (2010). *Análise de Lineamentos Estruturais no Domo de Lages (SC) com Uso de Imagens de Satélite e Mapas de Relevô Sombreado*. Geologia USP, Série Científica, Vol. 10, n° 2, pp. 57-72.

Romão, J. (2001). *O Paleozóico no bordo SW da Zona Centro-Ibérica: estratigrafia, tectónica e evolução geodinâmica*. Geonovas, n° 15, pp. 33-43.

- Romão, J., Metodiev, D., Dias, R., Ribeiro, A. (2013). *Evolução geodinâmica dos sectores meridionais da Zona Centro-Ibérica*. In Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J. C. (Eds.), *Geologia de Portugal Vol.1*. Escolar Editora, pp. 205-258.
- Sabins, F. F. (1997). *Remote Sensing: principles and interpretation*. W. H. Freeman and Company, 3ª edição, 494p.
- Sabins, F. F. (1999). *Remote sensing for mineral exploration*. Ore Geology Reviews 14, pp. 157-183.
- Scanvic, J. Y. (1997). *Aerospatial Remote Sensing in Geology*. A.A. Balkema, 239p.
- Schowengerdt, R. A. (2007). *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. Academic Press, 3ª edição, 515p.
- Sequeira, A. J. D., Proença Cunha, P., Sousa, M. B. (1997). *A reactivação de falhas, no intenso contexto compressivo desde meados do Tortoniano, na região de Espinhal-Corja-Caramulo (Portugal Central)*. Comunicações do IGM, Tomo 83, pp. 95-126.
- Sides, E., Vairinho, M., Woldai, T. (2000). *Application of image enhancement of remote sensed data for geological mapping in the Moura-Ficalho area, Portugal*. Comunicações do IGM, Tomo 87, pp. 113-126.
- Silva, A. F. (2005). *A litostratigrafia e estrutura do Supergrupo Dúrico-Beirão (Complexo Xisto-Grauváquico), em Portugal, e sua correlação com as correspondentes sucessões em Espanha*. INETI, 32p.
- Sinergeo, Lda. & Universidade do Minho (2013). *PROSPEG – Projecto de prospecção, análise distanciada e detecção remota de pegmatitos*. Sinergeo - Soluções Aplicadas em Geologia, Hidrogeologia e Ambiente, Lda. 146 p.
- Soares, A. F., Marques, J. F., Sequeira, A. J. D. (2007). *Notícia explicativa da folha 19-D Coimbra-Lousã da Carta Geológica de Portugal*. INETI. 71p.
- Solomon, S. & Ghebreab, W. (2006). *Lineament characterization and their tectonic significance using Landsat TM data and field studies in the central highlands of Eritrea*. Journal of African Earth Sciences, 46, pp. 371-378.
- Thadeu, D. (1949). *A cordilheira central entre as serras da Gardunha e de São-Pedro-do-Açor*. Boletim Soc. Geol. Port. Vol. VIII, pp. 7-20.
- Thadeu, D. (1951). *Geologia do Couto Mineiro da Panasqueira*. Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal. Tomo XXXII, 1ª parte, pp. 5-64.
- Thadeu, D. (1965). *Características da mineralização hipogénica estano-volframítica portuguesa*. Boletim Ordem dos Eng., Vol. XX, nº1, Memória nº204, pp. 61-79.
- Thadeu, D. (1976). *Hercynian paragenetic units of the Portuguese part of the Hesperic Massif*. Boletim da Soc. Geol. de Portugal, Vol. XX, pp. 247-276.
- Thadeu, D. & Aires Barros, L. (1952). *Influence du milieu et du processus de mise en place sur les gisements stannio-wolframitiques de Santa Eulália et de Góis (Portugal)*. Colloque Scientifique International, Masson et Cie Eds. pp. 139-143.
- Thannoun, R. G. (2013). *Automatic Extraction and Geospatial Analysis of Lineaments and their Tectonic Significance in some areas of Northern Iraq using Remote Sensing Techniques and GIS*. International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering, Vol. 2 (2), 11p.

Torres, L. M. (1985). *Relatório preliminar da prospecção sísmica executada no Couto Mineiro de Góis em colaboração com o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)*. DGGM – SFM, Divisão de Geofísica, 9p.

van der Meer, F. D., van der Werff, H. M. A., van Ruitenbeek, F. J. A., Hecker, C. A., Bakker, W. H., Noomen, M. F., van der Meijde, M., Carranza, E. J. M.J., de Smeth, B., Woldai, T. (2012). *Multi- and hyperspectral geologic remote sensing: A review*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation (14), pp. 112-128.

Viegas, L. F. & Martins, L. P. (1992). *Notas sobre a prospecção de ouro em Portugal*. Estudos, Notas e Trabalhos, Tomo 34, pp. 95-106.

Viegas, L. F. S., Andrade, R. S N., Rodrigues, L. V., Martins, L. P. (1991). *Projecto de prospecção de metais nobres (ouro e prata). Faixa Vila Verde/Ponte da Barca. Relatório final*. SFM, 71p.

Vincent, R. K. (1997). *Fundamentals of Geological and Environmental Remote Sensing*. Prentice Hall, 366p.

Waters, P. A., Roberts, D. E., Richards, T. S. (1988). *Relatório descritivo das jazidas e da sua prospecção e pesquisa. Apêndice 6.2. A pilot satellite image analysis of the geology of an area in central Portugal*. In Projecto mineiro aurífero de Montemor-o-Novo. Volume I. Universidade de Bristol.

Weng, Q. (2010). *Remote Sensing and GIS Integration. Theories, Methods and Applications*. McGraw-Hill. 397p.

Referências na Internet

Comissão Europeia - Critical Raw Materials (2015) – ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical/index_en.htm

DGEG (2015) – www.dgeg.pt

Junta de Freguesia de Alvares (2015) – www.freguesiadealvares.pt

LNEG (2015) – www.lneg.pt

NASA (2015) – http://landsat.gsfc.nasa.gov/?page_id=4071

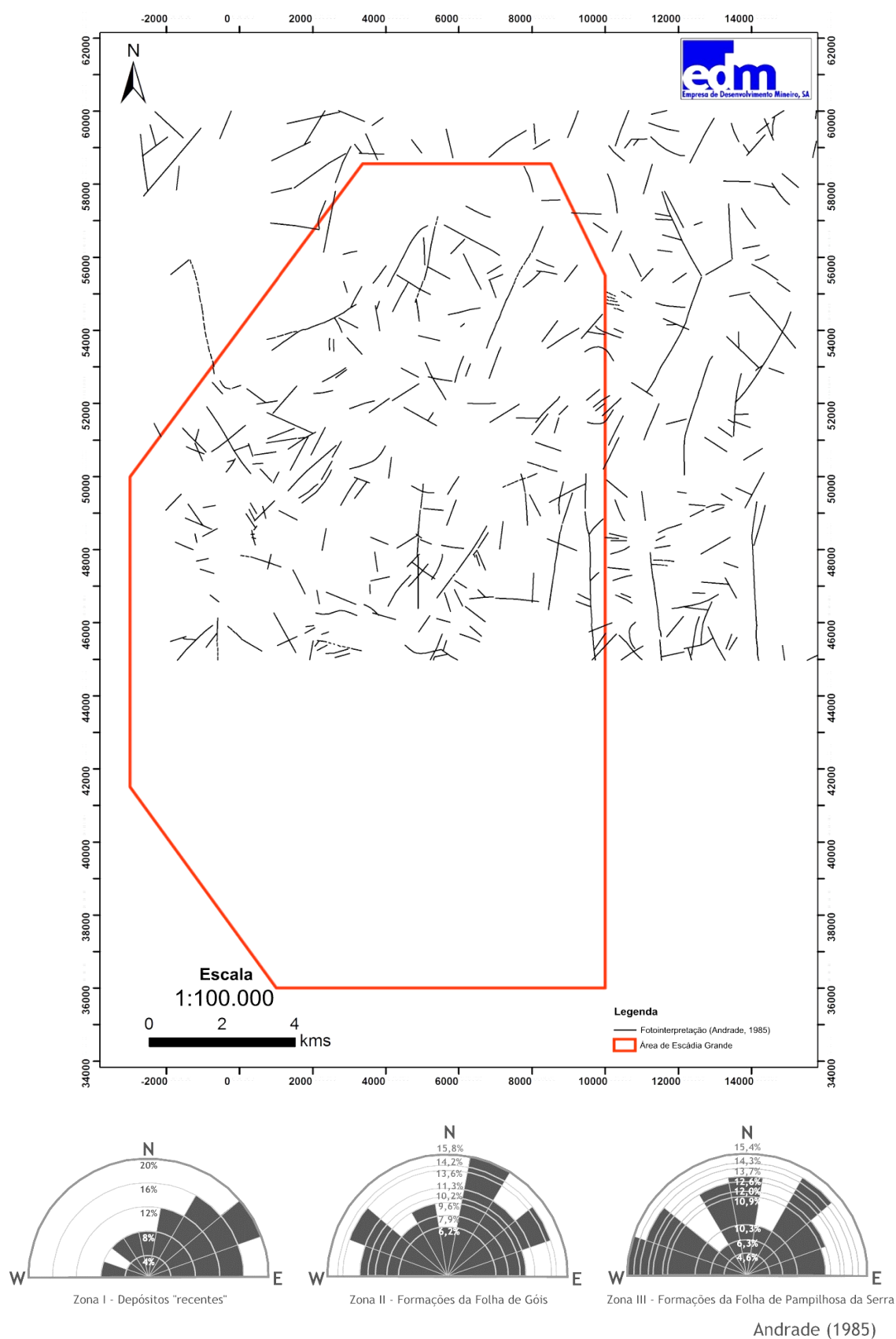
SIORMINP (2015) – geoportal.lneg.pt/geoportal/egeo/bds/siorminp

USGS (2015) – <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>

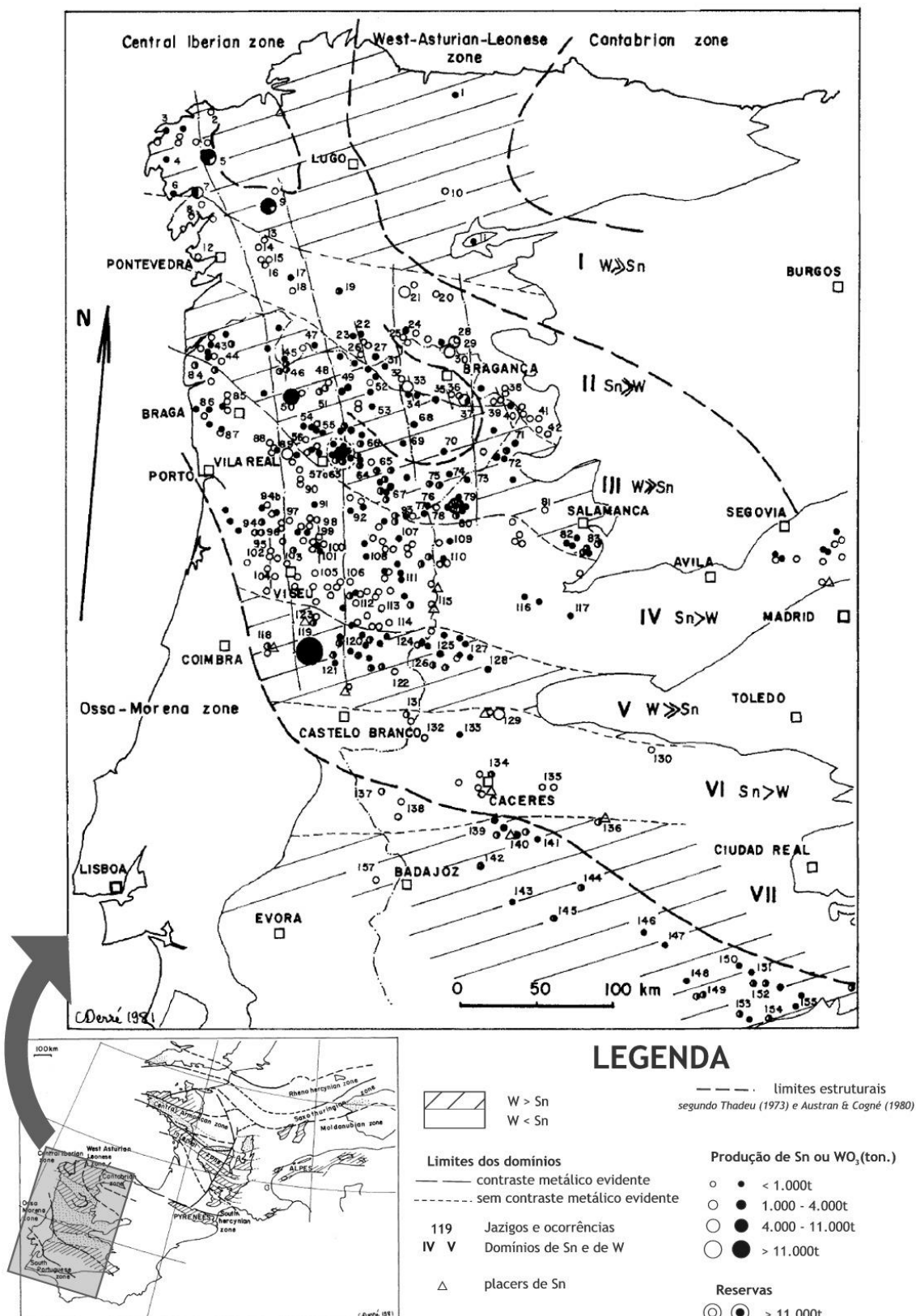
Anexos

Anexo I – Geologia, Mineralizações e Geomorfologia

I.A. Fotointerpretação geológica da região de Goiás (Andrade, 1985)



I.B. Domínios estaníferos e volfrâmicos na Península Ibérica (Derré, 1982)



Legenda

Minas e registos mineiros (1984-1998)

W, Sn

W

Couto Mineiro de Góis

1 - 7

2 - Lombo Gordo

3 - Rabadão nº2

4 - Barroca de Antais

5 - Rabadão nº1

6 - Fragas de Estanho

7 - Vale Pão

8 - Ribeiro

9 - Sandinha

10 - Almas do Libreiro

11 - Vale da Asna

12 - Vale Salgueiro

13 - Cabreira

14 - Vale da Urça

15 - Ribeira de Pílos

16 - Ribeiro nº1

17 - Alto do Rabadão

18 - Amiais

Geologia

Área Urbana

Formação Caneiro

Formação Boque-Serpins

Formação Colmeal

Cristas Ordovício

Meso-Cenozóico continental indiferenciado

Escala

1:40.000

0 0,75 1,5 kms

Adcasal

Celavisa

Góis

Cadafaz

edm
Empresa de Desenvolvimento Mineiro, SA

I.D. Cordilheira Central e serra da Lousã (Daveau et al., 1986)

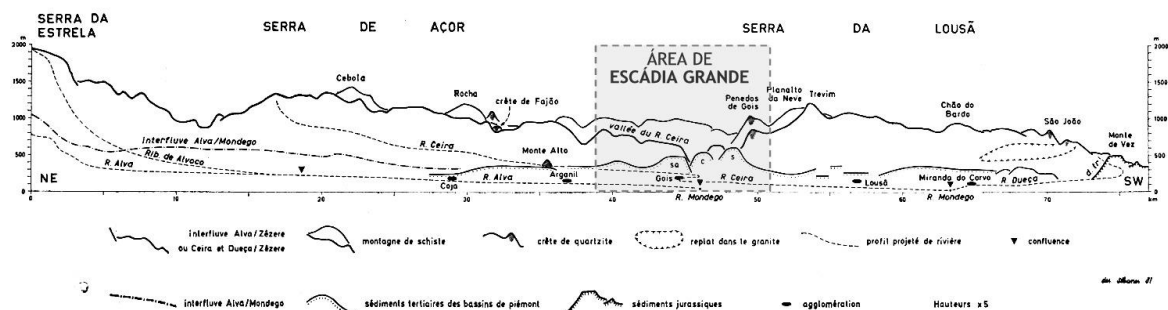


Fig. 30 — Profil projeté longitudinal des montagnes de schistes de la Cordilheira Central.
 C: Carvalhal, S: Sacões, SQ: Santa Quitéria, d. tr.: dépression triasique.

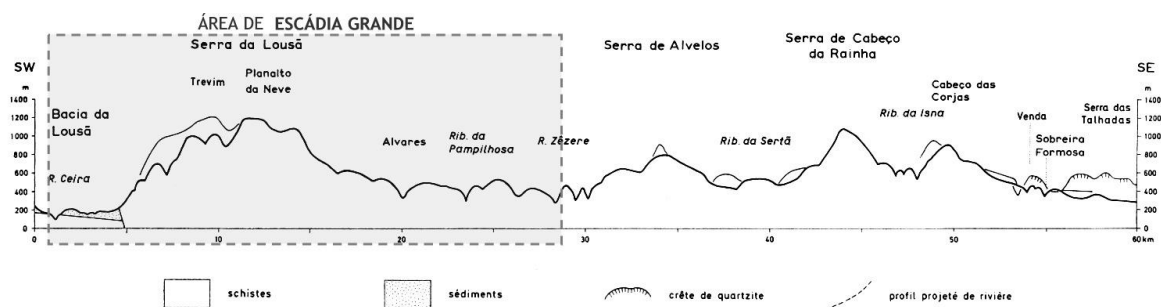


Fig. 31 — Profils transversaux des montagnes de schistes de la Cordilheira Central.

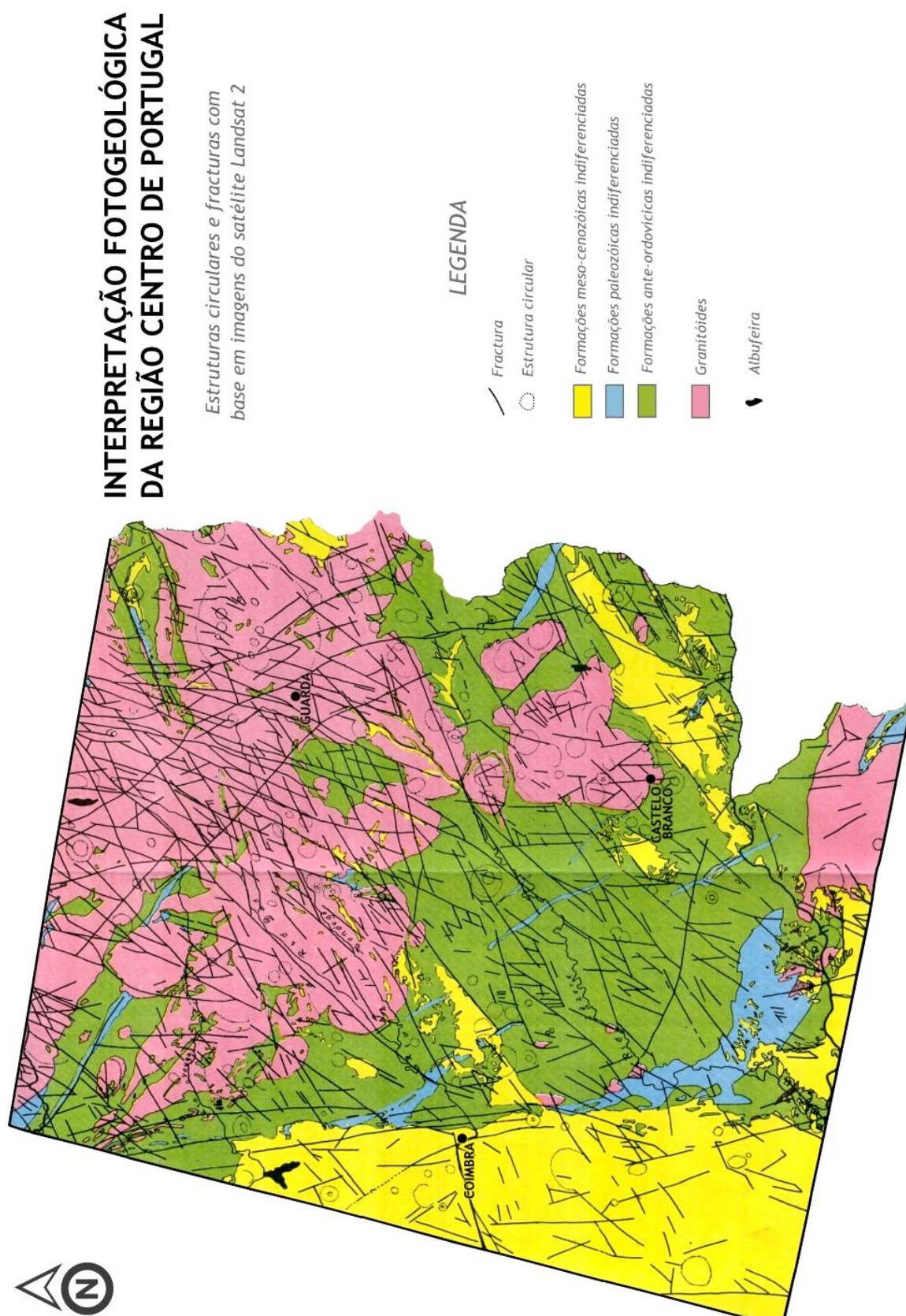
Anexo II

II.A. Critérios de fotointerpretação

Classe	Critério	Descrição
Informação radiométrica	Tom	Os lineamentos destacam-se por apresentarem uma variação tonalidade de forma linear em relação ao envolvente, quer sejam identificados directamente em afloramento ou sobre superfícies com cobertura vegetal. O seu brilho e cor depende, naturalmente, das fracções do espectro em análise e dos comprimentos de onda que o objecto reflecte, pelo que é o efeito de contraste que tem de ser tido em conta.
	Textura	Os lineamentos costumam ser distinguidos por apresentarem uma textura mais irregular (rugosa) relativamente ao envolvente.
Geometria	Forma	A forma dos lineamentos varia entre rectilínea e curvilínea. Muito embora não seja usual possuir a irregularidade das estruturas antrópicas, por vezes, estes elementos são facilmente confundidos, pelo que foi necessário ter em conta outros critérios.
	Comprimento	O comprimento dos lineamentos deve ter em conta a sua origem, pelo que elementos lineares de dimensões muito reduzidas (<100m) ou de continuidade exagerada (>10km) não deverão representar fenómenos geológicos. Note-se que a escala de observação e identificação desempenha um papel relevante no comprimento atribuído a determinado lineamento.
	Continuidade	A marcação de alguns lineamentos pode ser influenciada pela continuidade de determinada direcção.
	Contexto espacial	Elementos lineares associados ou nas imediações de estruturas antrópicas reconhecíveis (estradas, caminhos corta-fogo, linhas eléctricas de alta-tensão, etc.), têm menor probabilidade de ter origem geológica. Contudo, existem casos em que um lineamento de origem geológica pode, de facto, corresponder a um troço específico de uma estrutura antrópica, pelo que a utilização dos restantes critérios deverá ser respeitada.
	Direcção	A identificação de lineamentos deve ter em conta a principais direcções da fracturação e estruturas conhecidas a nível regional.
Geologia	Paralelismo	O reconhecimento e marcação de lineamentos pode ser facilitado devido ao paralelismo relativamente a outros elementos previamente identificados.
	Contexto geológico	O contexto geológico deve ser sempre tido em conta na medida em que a diferentes litologias e estruturas surgem associadas diferentes formas e padrões, daí resultando lineamentos com características distintas.
	Padrão	A principal componente deste critério é a rede de drenagem. A forma das linhas de água está directamente relacionada com o terreno onde estas se encontram implantadas; assim, diferentes tipos de redes de drenagem podem reflectir variações na estrutura subjacente e podem permitir distinguir litologias contrastantes. Do mesmo modo, diferentes estruturas geológicas evidenciam padrões de drenagem superficial distintos.
	Morfologia do terreno	Entre os principais critérios geomorfológicos para a identificação de lineamentos destacam-se: deslocamento relativo entre camadas ou horizontes-guia, corte de camadas, efeitos de arrastamento; presença de escarpas; presença de formas triangulares; alinhamento da topografia; deslocamento de cursos de água; alinhamento de zonas deprimidas próximas; existência de quedas de água (mudanças súbitas no perfil de um curso de água); rompimento de vales.

Adaptado de: Drury (1993), Sabins (1997), Gupta (2003), Lillesand et al. (2008) e Pinho (2009)

II.B. Interpretação fotogeológica da região centro de Portugal (Andrade, 1983)

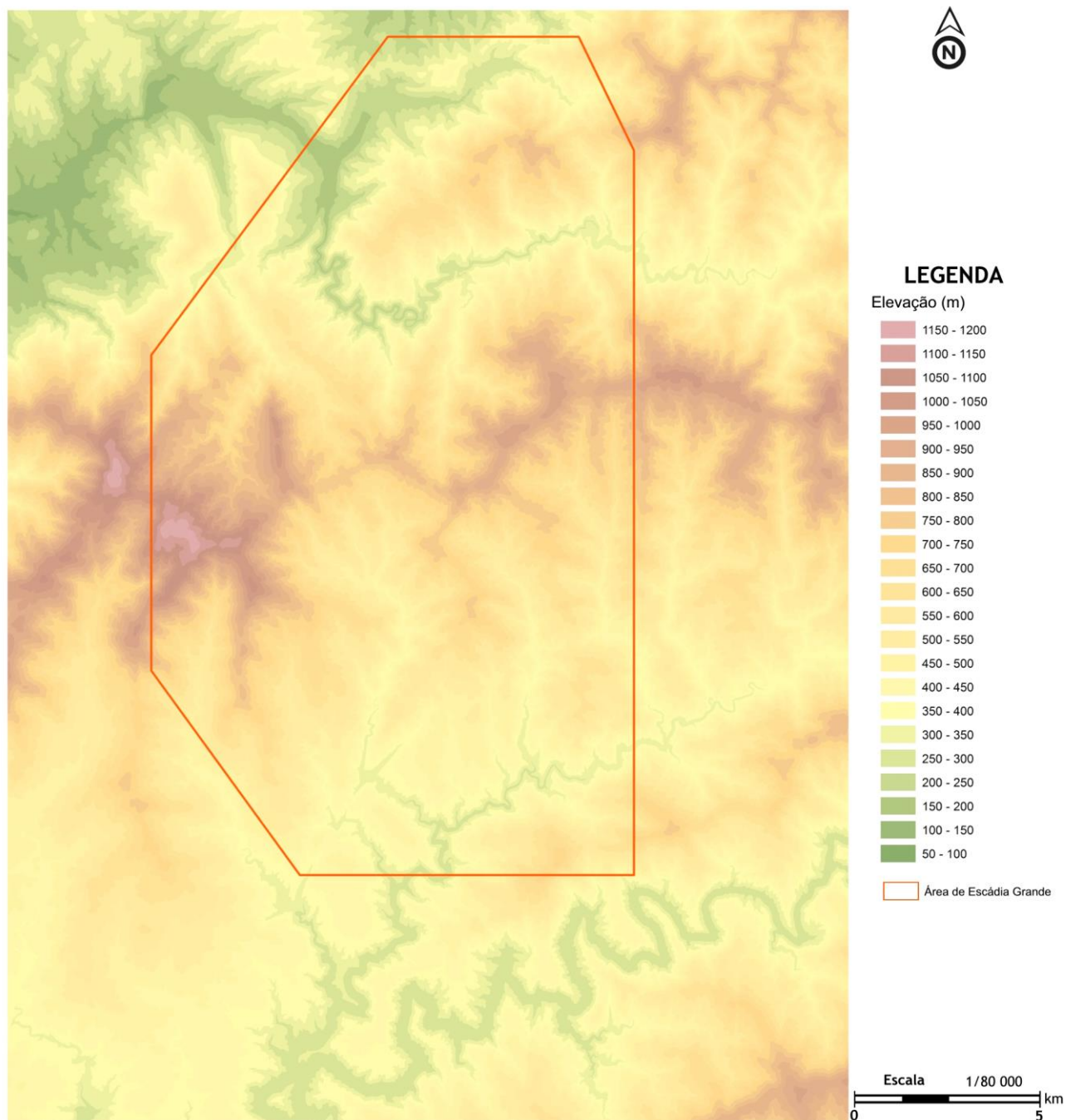


Anexo III – Metodologia aplicada

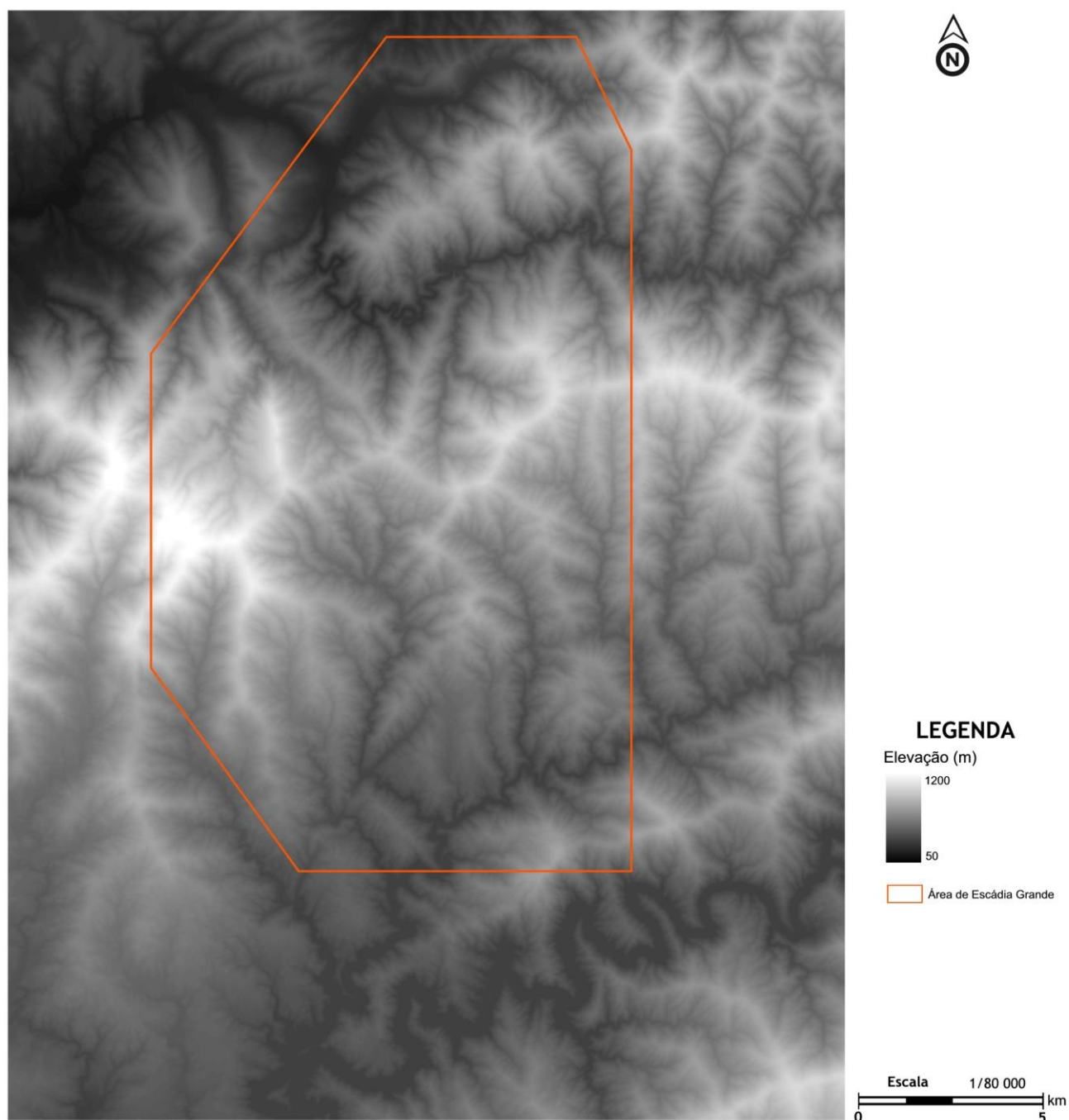
III.A. Imagem de satélite (composição *true colour*)



III.B. TIN



III.C. MDE



Anexo IV – Resultados

IV.A. Cálculo do OIF

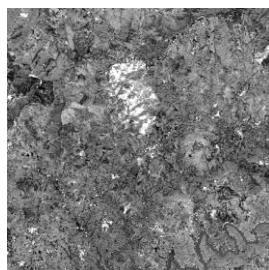
Combinações possíveis	Somatório desvios padrão	Somatório coef. corr.	OIF
1 2 3	1011.46	2.88	351.20
1 2 4	1145.7	2.83	404.84
1 2 5	2210.79	1.87	1182.24
1 2 6	2120.47	2.5	848.19
1 2 7	1648.5	2.63	626.81
1 2 8	1094.18	2.73	400.80
1 2 9	574.91	1.06	542.37
1 2 10	1274.73	2.07	615.81
1 2 11	1119.41	2.08	538.18
1 3 4	1283.54	2.8	458.41
1 3 5	2348.63	1.92	1223.24
1 3 6	2258.31	2.53	892.61
1 3 7	1786.34	2.63	679.22
1 3 8	1232.02	2.69	458.00
1 3 9	712.75	1.01	705.69
1 3 10	1412.57	1.98	713.42
1 3 11	1257.25	1.98	634.97
1 4 5	2482.87	1.76	1410.72
1 4 6	2392.55	2.48	964.74
1 4 7	1920.58	2.62	733.05
1 4 8	1366.26	2.66	513.63
1 4 9	846.99	0.98	864.28
1 4 10	1546.81	1.89	818.42
1 4 11	1391.49	1.9	732.36
1 5 6	3457.64	1.79	1931.64
1 5 7	2985.67	1.71	1746.01
1 5 8	2431.35	1.74	1397.33
1 5 9	1912.08	0.48	3983.50
1 5 10	2611.9	1.53	1707.12
1 5 11	2456.58	1.53	1605.61
1 6 7	2895.35	2.48	1167.48
1 6 8	2341.03	2.37	987.78
1 6 9	1821.76	0.83	2194.89
1 6 10	2521.58	1.82	1385.48
1 6 11	2366.26	1.82	1300.14
1 7 8	1869.06	2.49	750.63
1 7 9	1349.79	0.89	1516.62
1 7 10	2049.61	1.82	1126.16
1 7 11	1894.29	1.82	1040.82
1 8 9	795.47	0.93	855.34
1 8 10	1495.29	1.84	812.66
1 8 11	1339.97	1.85	724.31
1 9 10	976.02	0.6	1626.70
1 9 11	820.7	0.6	1367.83

Combinações possíveis	Somatório desvios padrão	Somatório coef. corr.	OIF
1 10 11	1520.52	2.13	713.86
2 3 4	1333.11	2.87	464.50
2 3 5	2398.2	1.95	1229.85
2 3 6	2307.88	2.61	884.25
2 3 7	1835.91	2.72	674.97
2 3 8	1281.59	2.76	464.34
2 3 9	762.32	1.05	726.02
2 3 10	1462.14	1.95	749.82
2 3 11	1306.82	1.96	666.74
2 4 5	2532.44	1.8	1406.91
2 4 6	2442.12	2.57	950.24
2 4 7	1970.15	2.72	724.32
2 4 8	1415.83	2.74	516.73
2 4 9	896.56	1.03	870.45
2 4 10	1596.38	1.5	1064.25
2 4 11	1441.06	1.89	762.47
2 5 6	3507.21	1.84	1906.09
2 5 7	3035.24	1.77	1714.82
2 5 8	2480.92	1.78	1393.78
2 5 9	1961.65	0.49	4003.37
2 5 10	2661.47	1.47	1810.52
2 5 11	2506.15	1.48	1693.34
2 6 7	2944.92	2.59	1137.03
2 6 8	2390.6	2.46	971.79
2 6 9	1871.33	0.89	2102.62
2 6 10	2571.15	1.81	1420.52
2 6 11	2415.83	1.82	1327.38
2 7 8	1918.63	2.59	740.78
2 7 9	1399.36	0.96	1457.67
2 7 10	2099.18	1.82	1153.40
2 7 11	1943.86	1.83	1062.22
2 8 9	845.04	0.98	862.29
2 8 10	1544.86	1.82	848.82
2 8 11	1389.54	1.84	755.18
2 9 10	1025.59	0.55	1864.71
2 9 11	870.27	0.56	1554.05
2 10 11	1570.09	2.02	777.27
3 4 5	2670.28	1.94	1376.43
3 4 6	2579.96	2.69	959.09
3 4 7	2107.99	2.81	750.17
3 4 8	1553.67	2.79	556.87
3 4 9	1034.4	1.07	966.73
3 4 10	1734.22	1.87	927.39
3 4 11	1578.9	1.88	839.84
3 5 6	3645.05	2.04	1786.79
3 5 7	3173.08	1.94	1635.61
3 5 8	2618.76	1.91	1371.08
3 5 9	2099.49	0.61	3441.79
3 5 10	2799.31	1.55	1806.01
3 5 11	2643.99	1.55	1705.80

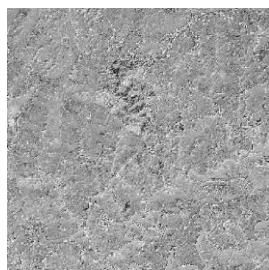
Combinações possíveis	Somatório desvios padrão	Somatório coef. corr.	OIF
3 6 7	3082.76	2.68	1150.28
3 6 8	2528.44	2.57	983.83
3 6 9	2009.17	0.99	2029.46
3 6 10	2708.99	1.87	1448.66
3 6 11	2553.67	1.87	1365.60
3 7 8	2056.47	2.67	770.21
3 7 9	1537.2	1.03	1492.43
3 7 10	2237.02	1.85	1209.20
3 7 11	2081.7	1.85	1125.24
3 8 9	795.47	1.01	787.59
3 8 10	1495.29	1.81	826.13
3 8 11	1339.97	1.82	736.25
3 9 10	1163.43	0.53	2195.15
3 9 11	1008.11	0.53	1902.09
3 10 11	1707.93	1.95	875.86
4 5 6	3779.29	1.89	1999.62
4 5 7	3307.32	1.83	1807.28
4 5 8	2753	1.78	1546.63
4 5 9	2233.73	0.48	4653.60
4 5 10	2933.55	1.36	2157.02
4 5 11	2778.23	1.37	2027.91
4 6 7	3217	2.74	1174.09
4 6 8	2662.68	2.55	1044.19
4 6 9	2143.41	0.97	2209.70
4 6 10	2843.23	1.79	1588.40
4 6 11	2687.91	1.8	1493.28
4 7 8	2190.71	2.69	814.39
4 7 9	1349.79	1.05	1285.51
4 7 10	2049.61	1.81	1132.38
4 7 11	1894.29	1.82	1040.82
4 8 9	1117.12	1.01	1106.06
4 8 10	1816.94	1.76	1032.35
4 8 11	1661.62	1.77	938.77
4 9 10	1297.67	0.47	2761.00
4 9 11	1142.35	0.48	2379.90
4 10 11	1842.17	1.84	1001.18
5 6 7	4282.09	2.06	2078.68
5 6 8	3727.77	1.86	2004.18
5 6 9	3208.5	0.7	4583.57
5 6 10	3908.32	1.66	2354.41
5 6 11	3753	1.66	2260.84
5 7 8	3255.8	1.78	1829.10
5 7 9	2736.53	0.56	4886.66
5 7 10	3436.35	1.46	2353.66
5 7 11	3281.03	1.46	2247.28
5 8 9	2182.21	0.51	4278.84
5 8 10	2882.03	1.39	2073.40
5 8 11	2726.71	1.4	1947.65
5 9 10	2362.76	0.53	4458.04
5 9 11	2207.44	0.53	4164.98

Combinações possíveis	Somatório desvios padrão	Somatório coef. corr.	OIF
5 10 11	2907.26	2.03	1432.15
6 7 8	3165.48	2.6	1217.49
6 7 9	2646.21	1.1	2405.65
6 7 10	3346.03	1.94	1724.76
6 7 11	3190.71	1.94	1644.70
6 8 9	2091.89	0.91	2298.78
6 8 10	2791.71	1.73	1613.71
6 8 11	2636.39	1.74	1515.17
6 9 10	2272.44	0.59	3851.59
6 9 11	2117.12	0.59	3588.34
6 10 11	2816.94	2.03	1387.66
7 8 9	1619.92	0.97	1670.02
7 8 10	2319.74	1.73	1340.89
7 8 11	2164.42	1.74	1243.92
7 9 10	1800.47	0.53	3397.11
7 9 11	1645.15	0.53	3104.06
7 10 11	2344.97	1.91	1227.73
8 9 10	1246.15	1.46	853.53
8 9 11	1090.83	0.48	2272.56
8 10 11	1790.65	1.84	973.18
9 10 11	1271.38	0.99	1284.22

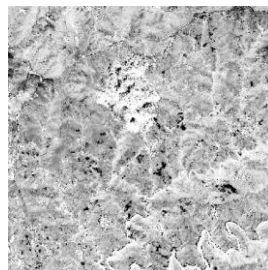
IV.B. Vectores próprios dos eixos principais PC5 a PC11 e respectivas imagens



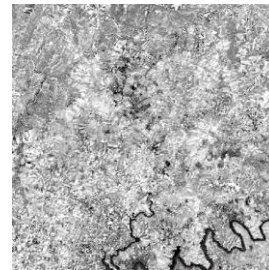
PC5	
<i>B8</i>	0,83
<i>B6</i>	0,17
<i>B10</i>	0,02
<i>B9</i>	0,00
<i>B11</i>	0,00
<i>B5</i>	-0,04
<i>B1</i>	-0,18
<i>B2</i>	-0,20
<i>B3</i>	-0,23
<i>B7</i>	-0,23
<i>B4</i>	-0,32



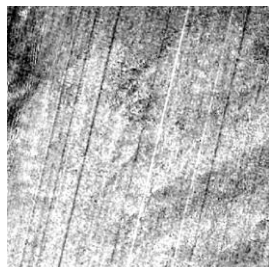
PC6	
<i>B6</i>	0,43
<i>B1</i>	0,36
<i>B2</i>	0,34
<i>B3</i>	0,25
<i>B9</i>	0,00
<i>B10</i>	-0,04
<i>B11</i>	-0,04
<i>B4</i>	-0,07
<i>B8</i>	-0,08
<i>B5</i>	-0,09
<i>B7</i>	-0,70



PC7	
<i>B1</i>	0,43
<i>B7</i>	0,37
<i>B2</i>	0,36
<i>B8</i>	0,04
<i>B5</i>	0,02
<i>B11</i>	0,02
<i>B9</i>	0,00
<i>B3</i>	-0,01
<i>B10</i>	-0,08
<i>B6</i>	-0,14
<i>B4</i>	-0,72



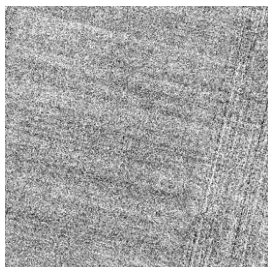
PC8	
<i>B3</i>	0,83
<i>B10</i>	0,16
<i>B7</i>	0,03
<i>B9</i>	0,01
<i>B8</i>	-0,01
<i>B5</i>	-0,03
<i>B6</i>	-0,03
<i>B11</i>	-0,16
<i>B2</i>	-0,24
<i>B1</i>	-0,31
<i>B4</i>	-0,32



PC9	
<i>B10</i>	0,59
<i>B2</i>	0,11
<i>B1</i>	0,08
<i>B4</i>	0,03
<i>B7</i>	0,02
<i>B5</i>	0,01
<i>B8</i>	0,00
<i>B9</i>	0,00
<i>B6</i>	-0,01
<i>B3</i>	-0,19
<i>B11</i>	-0,77



PC10	
<i>B1</i>	0,68
<i>B3</i>	0,06
<i>B4</i>	0,04
<i>B7</i>	0,01
<i>B8</i>	0,01
<i>B10</i>	0,01
<i>B5</i>	0,00
<i>B6</i>	0,00
<i>B9</i>	-0,03
<i>B11</i>	-0,03
<i>B2</i>	-0,73



PC11	
<i>B2</i>	0,02
<i>B3</i>	0,00
<i>B4</i>	0,00
<i>B5</i>	0,00
<i>B6</i>	0,00
<i>B7</i>	0,00
<i>B8</i>	0,00
<i>B10</i>	0,00
<i>B11</i>	0,00
<i>B1</i>	-0,03
<i>B9</i>	-1,00

IV.C. Cartografia de pormenor – Vale Pião

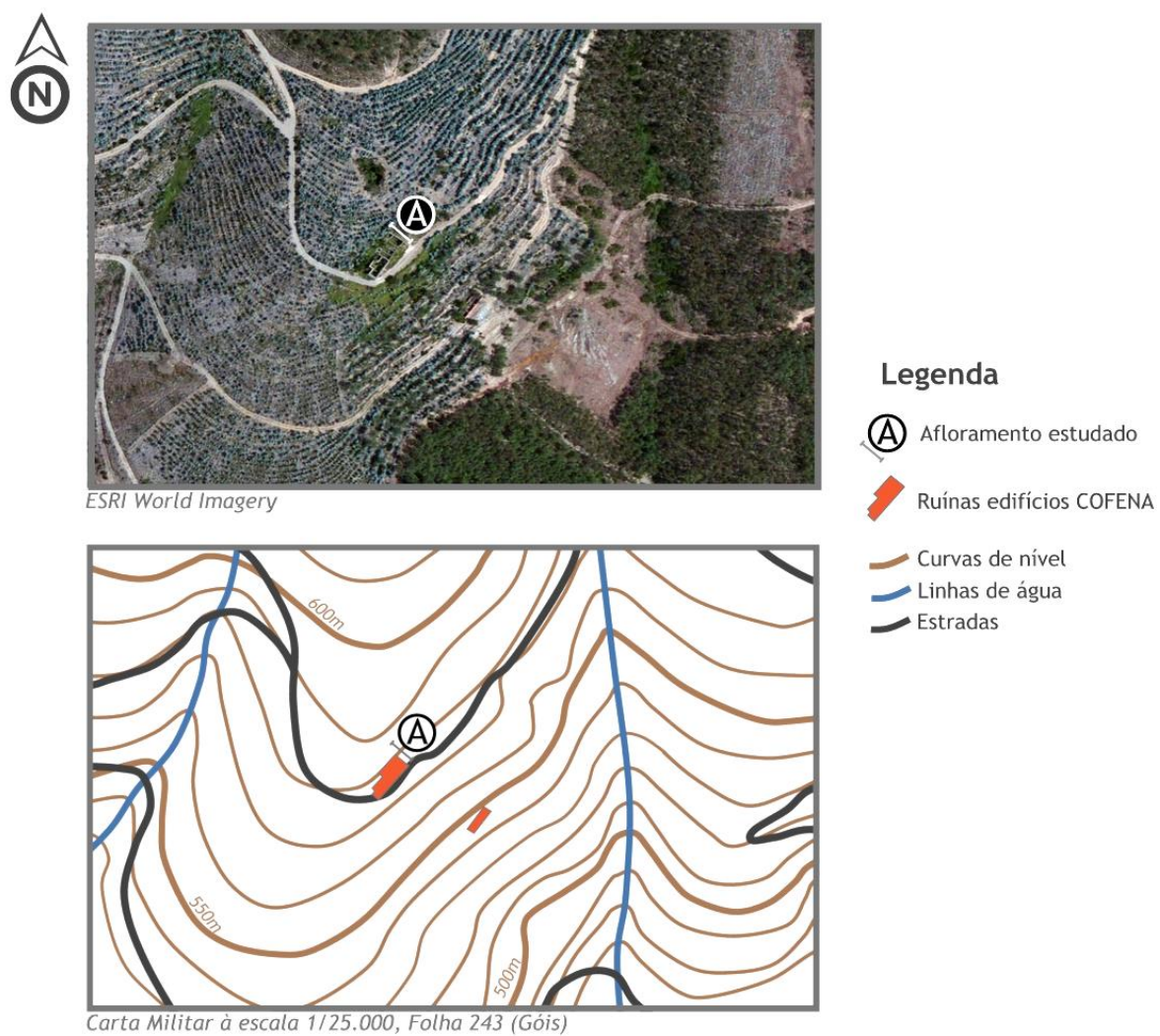


Fig. IV.C1. Localização do afloramento estudado em Vale Pião, junto às ruínas das antigas instalações da COFENA.



- (iii) não foi possível medir S0 no afloramento.

Fig. IV.C2. Esboço interpretativo do afloramento estudado em Vale Pião.

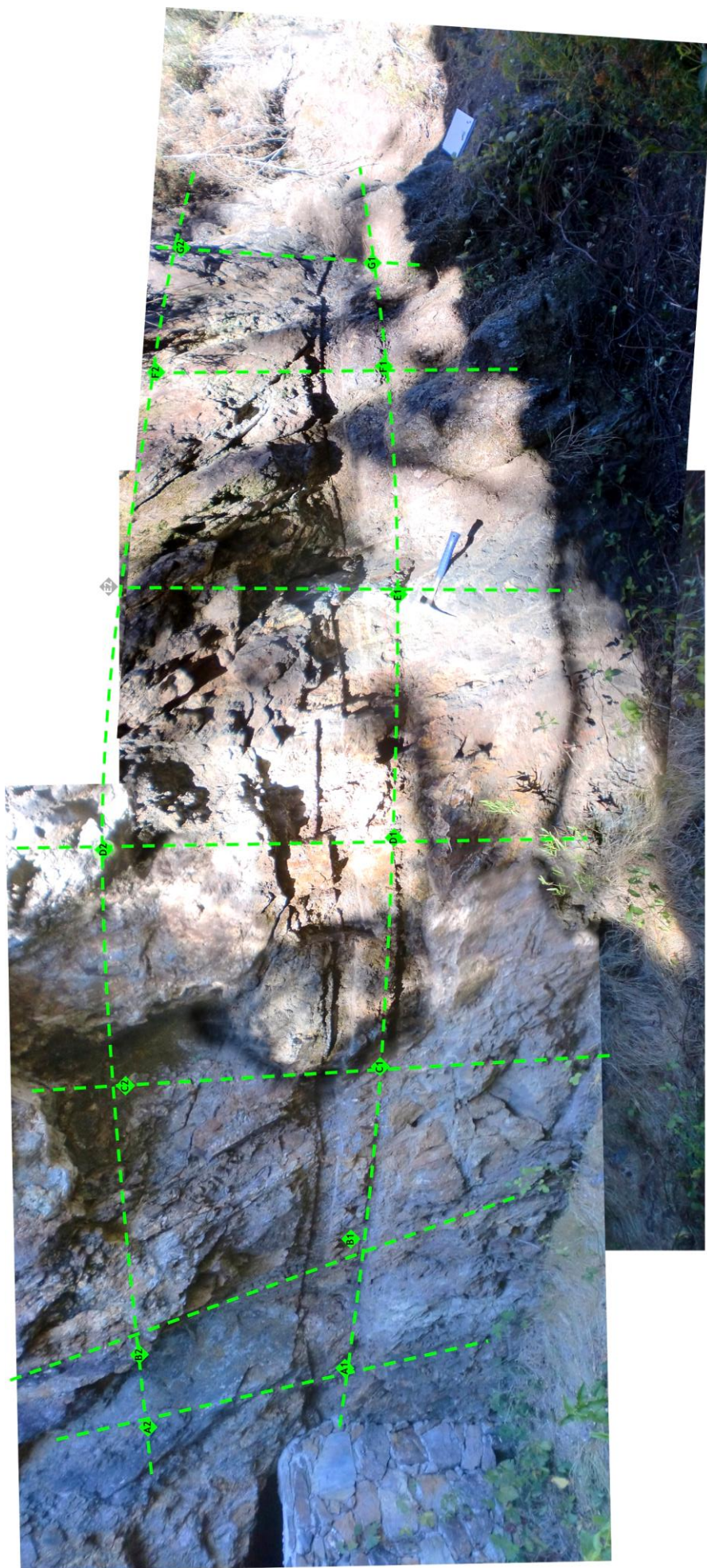


Fig. IV.C3. Fotomontagem do afloramento estudado em Vale Pião e sobreposição da malha de estudo adoptada.

